

# Mise en évidence expérimentale

des

## déviations lumineuses

### d'Allais-Esclangon

---

**Vincent MORIN**

Laboratoire de Biostatistique et Informatique Médicales

[vincent.morin@univ-brest.fr](mailto:vincent.morin@univ-brest.fr)

#### **PREAMBULE**

Que connaissons nous de la gravitation ? Apparemment, du point de vue théorique, beaucoup, et l'étude de cet édifice imposant que constitue la gravitation relativiste pourrait conforter ce point de vue.

Pourtant, du point de vue de l'expérience, cette même étude de la théorie actuelle ne manque pas de laisser un goût de déception tant les preuves expérimentales sont éloignées de nous, toutes très indirectes et cantonnées dans le domaine de l'Astrophysique. R.Saumont<sup>1</sup> a bien stigmatisé ce fait en insistant sur le gouffre qui existe entre la pratique de l'électromagnétisme et celle de la gravitation.

Ces simples constatations doivent porter les esprits curieux à conserver un regard attentif sur tout fait expérimental propre à compléter une connaissance qui, à l'analyse, ne semble pas aussi complète que la construction théorique peut le laisser croire.

Le développement -il faut le dire, un peu anarchique- des techniques de communication par réseau informatique, a fait apparaître florès de considérations théoriques plus ou moins solides, et nombre d'expérimentations aux résultats discutables ou très probablement mal interprétés. Mais il y a aussi des affirmations à caractère factuel émanant de personnes que l'on doit considérer, a priori, comme

---

<sup>1</sup> R.Saumont, Fusion n° 59, jan.-fév. 1996, p44-58 ; Fusion n° 60, mars-avr. 1996, p32-43 ; Fusion n° 61, mai-juin 1996, p34-46.

spécialement peu suspects de divagations, et dont les dires méritent bien évidemment d'être pris en considération.

C'est dans cette direction que le présent travail s'oriente : il s'agit de faire preuve d'ouverture d'esprit et de ne pas considérer de prime abord que la théorie fournit en tout domaine une réponse définitive à toute forme possible d'expérimentation.

Il faut d'ailleurs une bonne dose d'aveuglement pour adhérer à cette vue que la théorie actuelle dit tout, tant il est facile pour un esprit bien formé de poser des questions auxquelles la dite théorie est bien en peine de fournir des réponses totalement satisfaisantes.

En fin de compte ce travail est à la fois un credo dans la prééminence de l'expérience, et un espoir de progrès renouvelé par la promotion de l'observation attentive des phénomènes.

L'auteur n'est bien sûr pas dupe de la difficulté de l'expérimentation et de son interprétation, la reprise et la répétition de la manifestation des faits est une condition essentielle de la reconnaissance de ceux-ci. A ce titre, ce travail, qui est lui même un prolongement d'autres travaux, méritera d'être poursuivi jusqu'à totale conviction de l'existence ou de l'inexistence des faits, et à leur explication s'ils existent.

A l'heure où la simulation par les ordinateurs est devenue aisée, simulation dont la propriété essentielle est de ne donner de résultats que dans le cadre où leurs calculs ont été programmés, ce travail voudrait aussi rappeler que le fondement de la Physique est l'observation de la nature, et non le seul développement des idées que l'on a pu s'en faire jusqu'à présent.

# TABLE DES MATIERES

I) INTRODUCTION.....	4
A) OBJECTIFS ET CONTEXTE ANTERIEUR.....	4
B) POINT FOCAL DE L'ETUDE.....	5
C) INVESTIGATION.....	6
II) DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	7
A) PRINCIPE.....	7
B) REALISATION.....	8
1) MONTAGE DU DISPOSITIF DE MESURE.....	8
a) SOURCE.....	8
b) RECEPTEUR.....	8
c) BANC D'OPTIQUE.....	8
d) FOCALISATION.....	9
e) FORME DU SPOT.....	10
2) ENVIRONNEMENT DE CONTROLE.....	11
3) PROCEDURE DE MESURE.....	12
III) METHODES DE TRAITEMENT DES DONNEES.....	14
A) CONVERSION, CENTRAGE.....	14
B) CORRECTION DE LA TEMPERATURE.....	14
C) ANALYSE HARMONIQUE.....	14
IV) RESULTATS EXPERIMENTAUX.....	16
A) SERIE DU 10 OCTOBRE AU 9 NOVEMBRE 2003.....	17
B) SERIE DU 12 NOVEMBRE AU 12 DECEMBRE 2003.....	33
C) SERIE DU 15 DECEMBRE 2003 AU 14 JANVIER 2004.....	47
V) COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS.....	61
A) RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES.....	61
B) ESTIMATION D'UNE LIMITE HAUTE DU BRUIT.....	63
C) CONCLUSION.....	65
VI) ANNEXES.....	66

## I) INTRODUCTION

### A) OBJECTIFS ET CONTEXTE ANTERIEUR

Le présent mémoire a pour objectif de présenter les conditions et les résultats d'une expérimentation menée afin de renouveler l'une des constatations que M. M.Allais, économiste (prix Nobel 1988) et physicien, dit avoir faites en 1958 et 59, et qu'il a décrites dans son ouvrage "L'anisotropie de l'espace"<sup>1</sup>.

La section III de l'ouvrage sus-dit, située aux pages 332 à 372, fait état de deux campagnes de mesures, l'une faite à l'IRSID<sup>2</sup> en juillet 1958 (visées sur mires), l'autre faite à l'IGN<sup>3</sup> du 23 février au 25 mars 1959 (visées sur mires et collimateurs). Le lecteur est renvoyé à l'ouvrage princeps pour les détails des expériences originales et les relevés de constatations. Pour ce qui nous intéresse, M.Allais affirme que la lumière subit des déviations, qu'il associe à des phénomènes astronomiques, et que le signal constitué par la suite des angles relevés met en évidence un comportement multi-périodique aux périodes caractéristiques de 12 h. 30 mn, 24 h., 24 h. 50 mn, 27,322 jours.

Je n'insisterai pas sur l'importance théorique de ces constatations et sur les questions que leur confirmation répétée poseraient. Le présent travail est purement expérimental et veut se borner aux constatations, sans interprétation aucune ; bien que j'aie ma propre vue des choses, à distance de celle des partisans de l'éther classique. Aucune polémique ne devrait naître de constatations expérimentales, la théorie physique est asservie à l'expérience, non l'inverse. Au demeurant, il n'est pas du tout certain que la confirmation des déviations soit contradictoire avec la théorie s'il s'avérait, par exemple, que le milieu de propagation et son indice jouent dans le phénomène. Mais même dans ce cas, il y aurait matière à revoir certaines conceptions touchant à la nature de la gravitation et à ses modalités d'influence sur la matière. Mais laissons cela pour plus tard. L'ouvrage de M.Allais cite les travaux antérieurs de l'astronome Ernest Esclangon, qui faisait lui aussi état de déviations périodiques dans les visées optiques<sup>4</sup>.

---

1 M.Allais "L'anisotropie de l'espace", C.Juglar, Paris, 1997.

2 IRSID : Institut de Recherche de la Sidérurgie.

3 IGN : Institut Géographique National.

4 E.Esclangon, CRAS 12 avr 1926, T.182, p.921-923 ; CRAS 12 juil 1926, T.183, n°2, p.116-118 ; CRAS 27 déc 1927, T.185, n°26, p.1593-1595 ; J. des Observateurs, Vol.XI, n°4, 1928, p.49-63 ; CRAS 1 avr 1935, T.182, p.1165-1168.

## B) POINT FOCAL DE L'ETUDE

Je m'intéresserai ici prioritairement à l'affirmation de l'existence d'une composante spectrale de période 24 h. 50 mn dans les déviations lumineuses. En effet, le principal effet perturbateur anticipé, dont je ne peux totalement exempter les données, résulte de la dilatation thermique journalière dont la période de 24 h. est facteur de confusion pour d'éventuelles déviations d'origine autre mais de même période. A la période de presque 25 h., on peut s'attendre à pouvoir mieux s'extraire de cet inconvénient. Malgré tout, il est possible que par une disposition de phase particulière, une composante de 24 h. puisse être constatée et distinguée d'un effet thermique.

En se référant aux graphiques de la p.337 extraits de la série de mesure sur 14 jours par ajustement de sinusoides, l'amplitude constatée pour une période de 25 h. à l'IRSID est de 0,670" (secondes centésimales) en visée nord-sud et 0,525" en visée sud-nord. Compte tenu de ce qu'une seconde centésimale vaut 1,571  $\mu$ rad, la déviation moyenne que l'on peut compter mesurer est de 0,939  $\mu$ rad, donc sensiblement 1  $\mu$ rad. Ceci correspond, pour un point lumineux, à une amplitude de déplacement transversal de 1  $\mu$ m à 1m (2 $\mu$ m crête à crête). A la p.361, un ajustement est fait avec 0,54" d'amplitude (0,85  $\mu$ rad).

A la p.336, une amplitude crête à crête est donnée pour la composante de période 24 h. : 1,234" nord-sud et 1,198" sud-nord. Soit 0,955  $\mu$ rad d'amplitude moyenne. Aussi pour une composante de 12 h., il est fait état de mesures donnant une amplitude moyenne de 0,276  $\mu$ rad.

### C) INVESTIGATION

La question expérimentale posée est ainsi la suivante :

Ayant rigidement associé une source S donnant un foyer lumineux F de petite taille à distance sur un récepteur R, puis-je constater des déplacements de F sur R dont l'analyse spectrale montre deux composantes, l'une de période 24 h. l'autre de période 24 h. 50 mn, et dont les amplitudes sont d'environ 1  $\mu$ rad ?

Déplacements qui ne soient évidemment pas dûs à un effet prévisible.

En fonction d'autres caractéristiques possibles des données, je ferai éventuellement d'autres remarques. Mais les aspects ci-dessus sont les points privilégiés d'investigation.

## II) DISPOSITIF EXPERIMENTAL

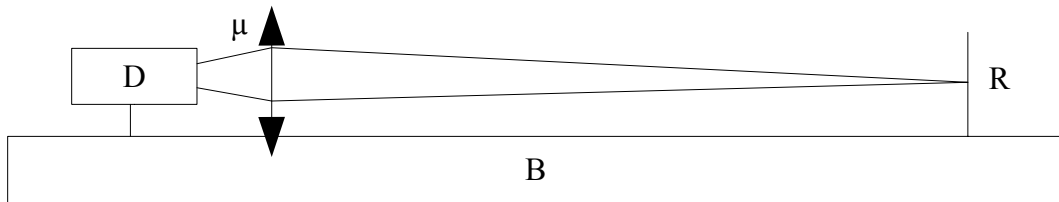
### A) PRINCIPE

Une diode laser D attachée à un banc d'optique B est focalisée sur la surface d'un circuit intégré ccd solidarisé au banc d'optique.

La source de lumière S est donc constituée du laser et de l'optique de focalisation  $\mu$ , le récepteur R est le circuit intégré.

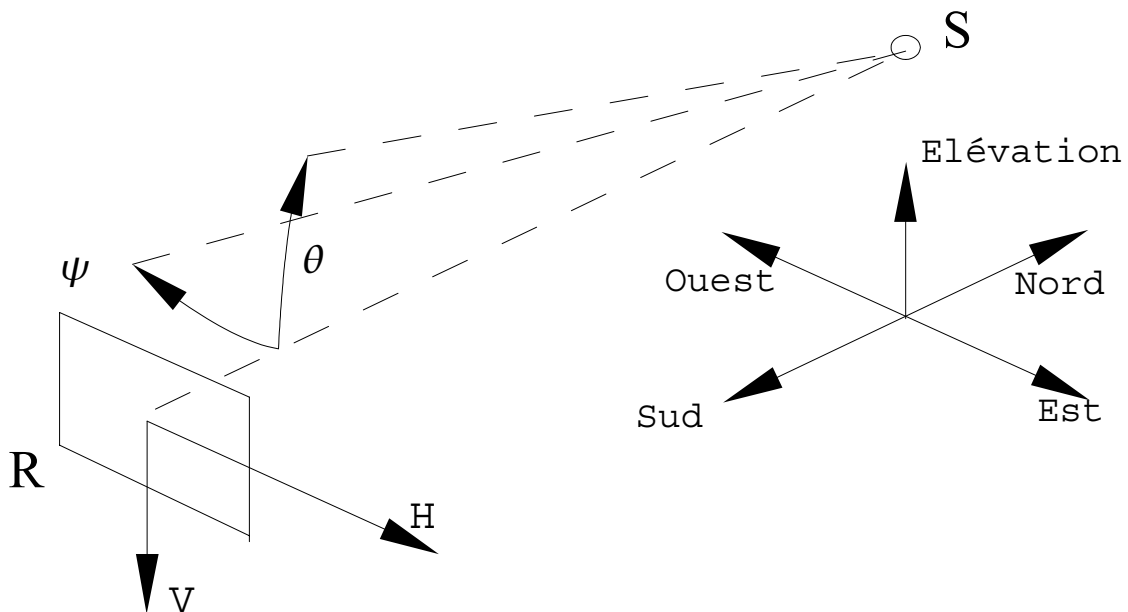
Le foyer ne doit jamais sortir de la surface du capteur, il doit être bien défini et exempt de diffraction qui toucherait les bords du capteur.

On relèvera, au cours du temps, la position du barycentre de l'image du foyer fournie par le récepteur ccd.



De la sorte on pourra déduire les variations angulaires  $\psi$  et  $\theta$  à partir des décalages en pixels H et V.

Les conventions d'orientation sont les suivantes :



H est positif vers l'est,  $\psi$  est positif vers l'ouest.

V est positif vers le bas,  $\theta$  est positif vers le haut.

H et V ont leur origine O au centre du récepteur (matrice ccd).

$\psi$  et  $\theta$  ont leur origine sur la ligne de S à O.

## B) REALISATION

### 1) MONTAGE DU DISPOSITIF DE MESURE

#### a) SOURCE

La diode laser est un module CQL900/D Philips, dont les caractéristiques suivent :

<i>Paramètre</i>	<i>Valeur</i>
Dimensions du cylindre de module	Ø 11 mm long. 25 mm
Longueur d'onde	675 nm ± 1nm
Puissance	1,2 mW
Courant de régime à 1 mW	70 mA
Collimation	0,3 mrad. verticale ; 0,9 mrad. parallèle
Largeur de faisceau	4,5 mm vertical ; 1 mm parallèle

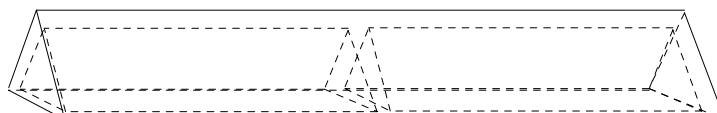
#### b) RECEPTEUR

Le capteur ccd est monté sur un circuit imprimé extrait de la coque sphérique d'une caméra internet (webcam) de modèle QuickCam Express, fabricant Logitech. Le circuit intégré qui y est présent a les caractéristiques suivantes :

chip PB100 ; pixels de 6 µm ; matrice 352 x 288.

#### c) BANC D'OPTIQUE

Le banc d'optique est triangulaire nervuré en fonte coulée rectifiée (1 m de long, 5 cm de hauteur) :



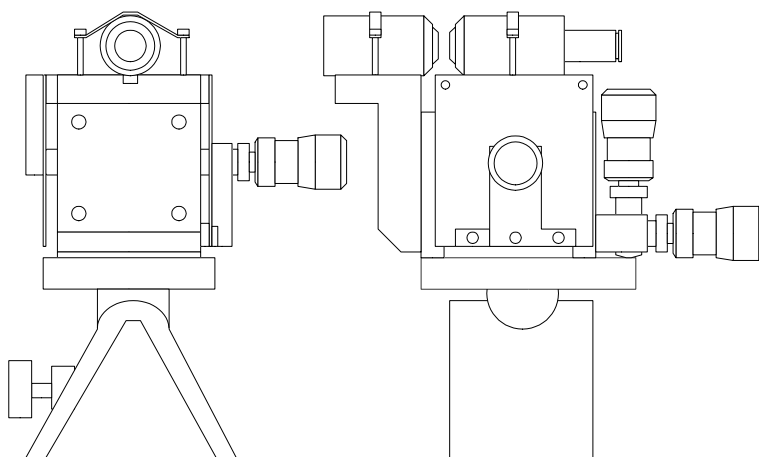
Cette construction n'est pas symétrique de révolution autour d'un axe passant par les centres de gravité des triangles d'extrémité, il faut



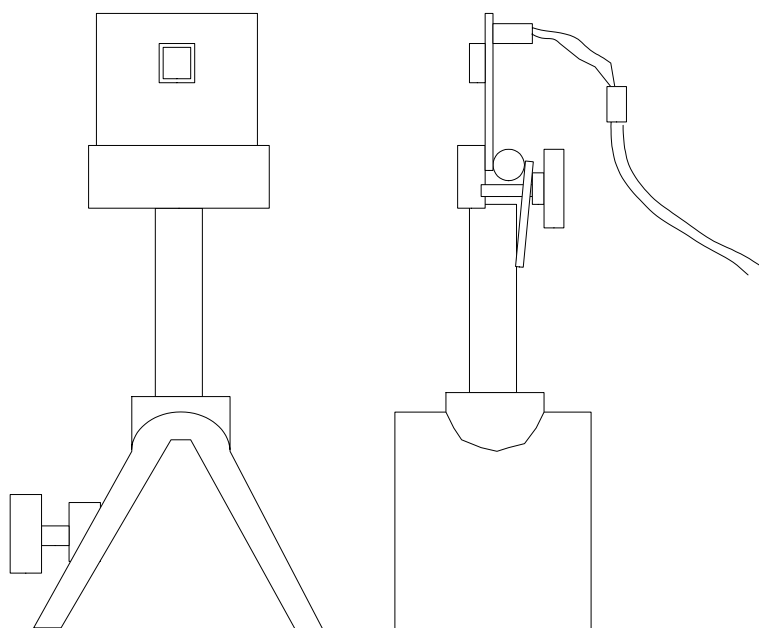
donc s'attendre à une anisotropie des dilatations thermiques, et c'est ce que l'on constate effectivement.

#### d) FOCALISATION

Le dispositif de focalisation est formé de deux objectifs de microscope Leitz Wetzlar x60,  $\mu_1$  et  $\mu_2$ , bridés sur le canal d'alignement d'un micropositionneur 0,1 $\mu$ m 3 axes Martok, lui même boulonné sur une glissière du banc d'optique. La figure ci dessous décrit le montage :



Le circuit imprimé sur lequel est soudé le circuit intégré ccd est monté dans une pince prise sur une autre glissière du banc. Comme suit :



Le banc d'optique tout équipé est dessiné ci-dessous :



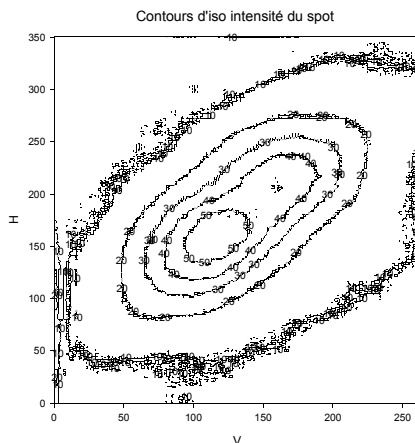
Tout ceci est posé dans une boîte en Styrodur ( $K = 0,033 \text{ W/m/}^\circ\text{C}$ ) de 80 mm d'épaisseur et de dimensions intérieures  $L \ 1 \ H \ 1,05 \ 0,20 \ 0,25$  (1,05 m<sup>2</sup> de surface intérieure). L'ensemble est orienté nord-sud, source au nord.

3 litres d'eau ( $C_p=4,185 \text{ J/kg/}^\circ\text{C}$  à  $15^\circ\text{C}$ ) en deux bouteilles sont placés avec le banc ajoutant une capacité thermique de 12,6 J/°C. On obtient une constante de temps de 30 sec. qui permet d'homogénéiser la température du contenu de la boîte.

#### e) FORME DU SPOT

Le spot laser est de forme elliptique mais la partie d'intensité maximale est presque circulaire. En fait la forme est de peu d'importance pourvu que les effets de bord soient négligeables. Seul le barycentre est considéré.

Une image du spot utilisé et un graphique de ses lignes iso intensité suivent :



## 2) ENVIRONNEMENT DE CONTROLE

L'environnement de contrôle est constitué de deux ordinateurs.

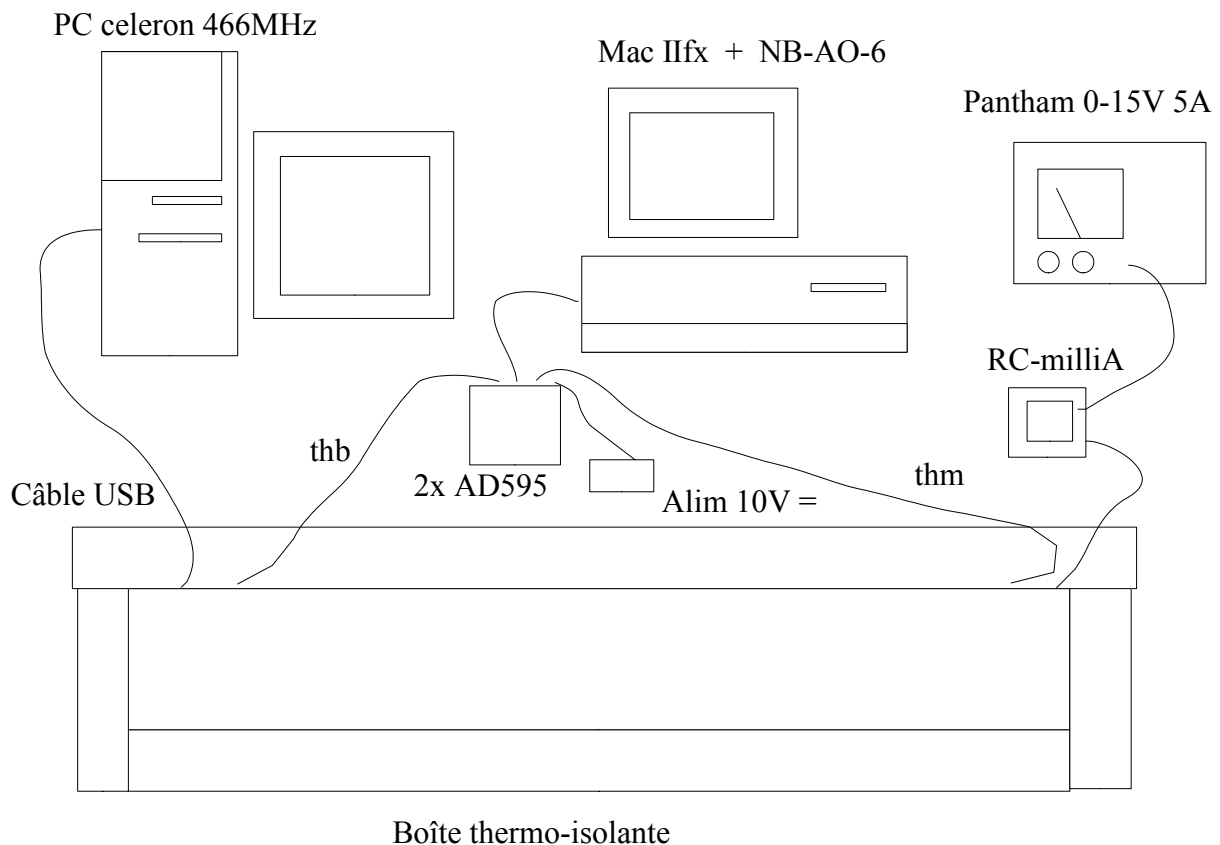
Un PC avec système d'exploitation Linux RedHat 7.6 sur lequel un logiciel à façon (DevLum, voir en annexe) a été écrit en Ada pour s'interfacer au pilote de QuickCam (driver USB qce-0.40) et faire les acquisitions et les moyennes de trames.

Un Macintosh IIfx système 7.1 avec carte National Instrument NB-AO-6, logiciel Labview 2, et un "VI" (Virtual Instrument) programmé à façon pour se synchroniser par l'horloge sur le PC et faire les moyennes de température sur 9 mn.

Les deux thermocouples K (thb sur le banc et thm sur le Martok) sont conditionnés par deux AD595 (Analog Device). Les AD595 sont écrantés dans une boîte métallique et alimentés par un transformateur redressé 10 V.

Le courant de la diode laser est fourni par une alimentation stabilisée variable Pantham Konstanter via un circuit RC et un milliampèremètre de contrôle fin du courant.

L'ensemble est donc comme ci-dessous :



### 3) PROCEDURE DE MESURE

Le logiciel DevLum acquiert et additionne en continu la composante image bleue des trames video, ceci pendant 9 mn. La 10<sup>ie</sup> minute est réservée aux calculs et laisse un peu de liberté au processeur pour les tâches épisodiques comme la copie des données. Sur le matériel utilisé, 4129 trames video sont sommées (7,6 trames/sec), c'est à dire que chaque pixel est mesuré 4129 fois, ce qui réduit à néant le bruit d'image dans la moyenne obtenue. La dixième minute, le barycentre de l'image moyenne est calculé, ce qui ajoute un lissage supplémentaire des valeurs barycentriques par moyennage spatial.

Le logiciel sur Macintosh procède de manière similaire, et mesure plusieurs centaines de fois les tensions des thermocouples pendant 9 minutes, et fait les moyennes à la dixième minute.

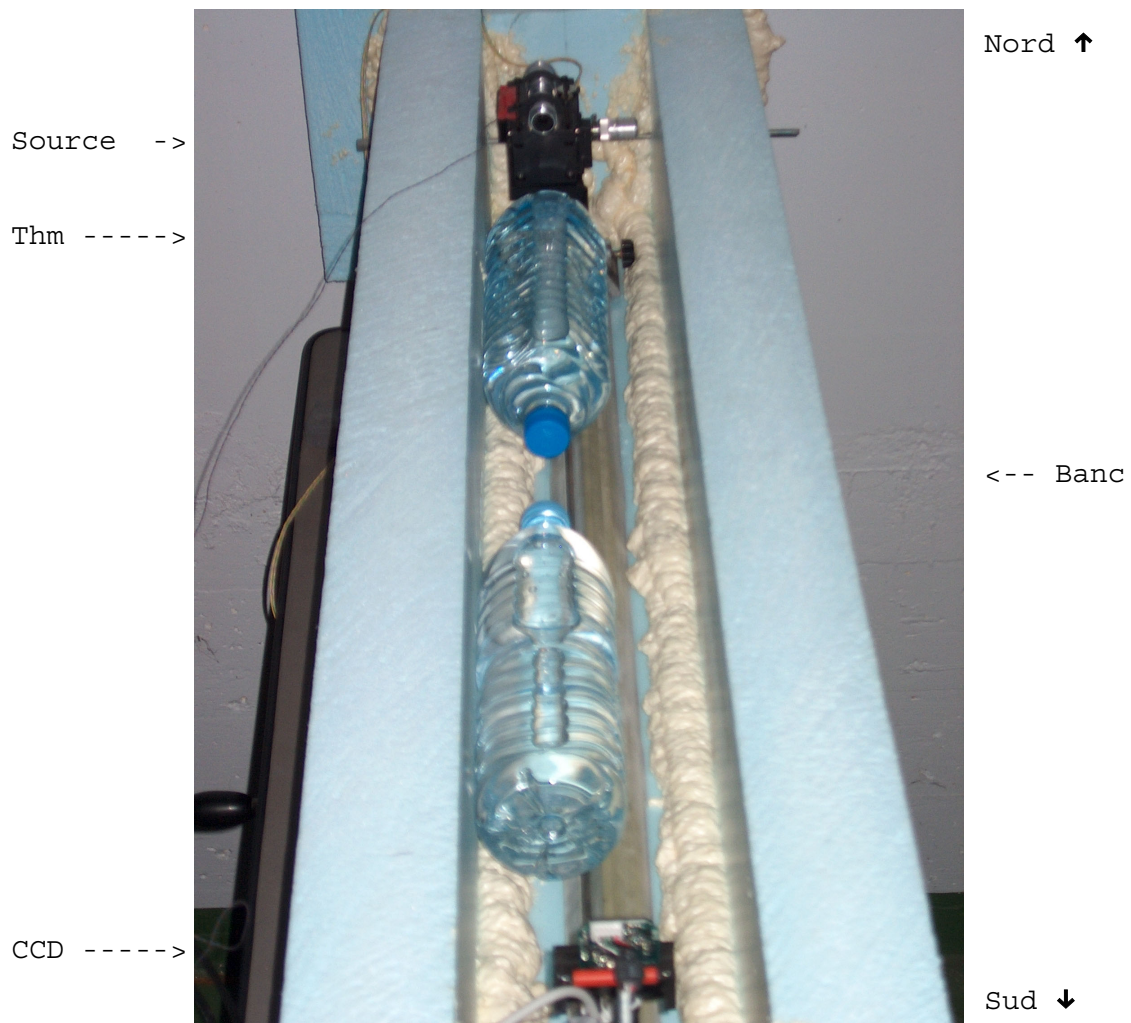
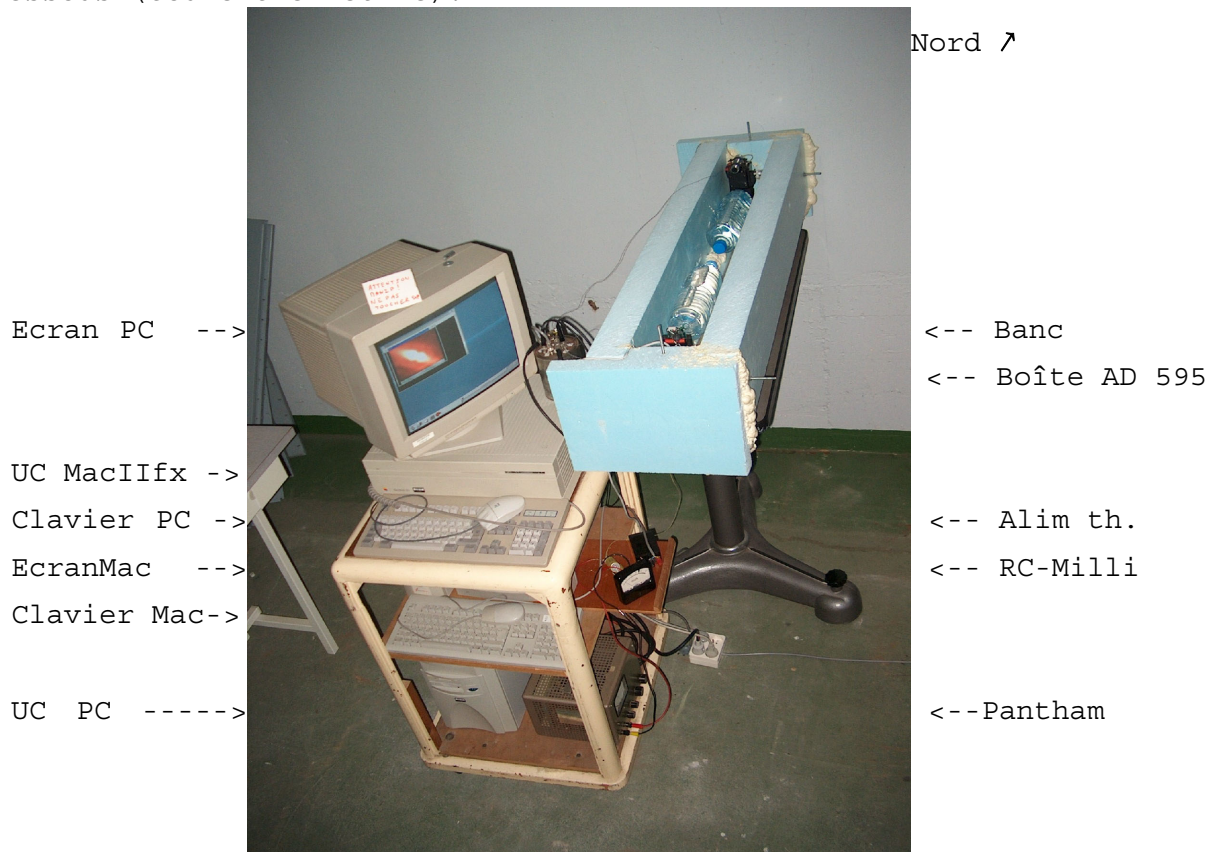
Les deux ordinateurs ont leurs horloges synchronisées à 1 mn près, les résultats sont stockés 5 mn après l'heure pleine  $H_i$  et à des intervalles successifs de 10 mn de sorte que les acquisitions sont centrées sur  $H_i + n$  fois 10 mn ; 6 acquisitions sont faites par heure.

Chaque acquisition fournit une ligne de données avec le temps universel, la position barycentrique en horizontal H, en vertical V, les deux températures  $T_b$  (du banc) et  $T_m$  (du Martok).

Les trois premières valeurs viennent dans un fichier Data.txt sur le PC, les deux dernières avec une copie de l'heure en T.U. dans un fichier DataTemp sur le Macintosh.

La dérive des horloges ne dépasse pas 2 à 3 mn sur le mois. Au début de chaque série mensuelle, la position du spot est vérifiée, éventuellement replacée (compte tenu de la température et de l'expérience des variations). Aussi, les horloges des ordinateurs sont resynchronisées sur une horloge asservie par radio.

Le montage mis en place dans une cave fermée sans passage est montré ci-dessous (couvercle retiré):



### III) METHODES DE TRAITEMENT DES DONNEES

#### A) CONVERSION, CENTRAGE

Les deux températures  $T_b$  et  $T_m$ , bien corrélées, sont moyennées et centrées en donnant ainsi le signal de température  $T_c$ . Les décalages de position H et V, en pixels, sont convertis en angles  $\psi$  et  $\theta$  compte tenu du pas de 6  $\mu\text{m}$  de la matrice ccd, et de la distance de 85 cm entre source (front de sortie de l'objectif de microscope  $\mu_2$ ) et récepteur (front du circuit intégré capteur). Puis les signaux d'angle sont centrés donnant  $\psi_c$  et  $\theta_c$ . Sur ceux-ci est appliquée une correction de température.

#### B) CORRECTION DE LA TEMPERATURE

Les effets de température sont théoriquement linéaires, par suite une régression linéaire doit permettre leur évaluation sur les signaux initiaux. Ceci à condition que les dits signaux aient une portion sur laquelle les fluctuations non imputables à la dilatation n'empêchent pas une régression.

Le signal  $\psi_c$  est assez sensible à la température pour autoriser une régression très reproductible sur l'ensemble des séries. Au contraire le signal  $\theta_c$  qui est nettement plus insensible ne peut être régressé que sur certaines portions où la température varie suffisamment fortement et régulièrement.

#### C) ANALYSE HARMONIQUE

Les transformées de Fourier sont faites sur 4326 points de données (721 h. avec 6 points par h.) de sorte que l'on ait les composantes de 24 h. (harmonique n° 30) et 24,86 h (24 h. 52 mn, harmonique n° 29).

L'algorithme de Glassmann (voir en annexe) est utilisé car il permet de transformer des séquences de longueur arbitraire, contrairement à l'algorithme classique qui exige un nombre de valeurs en puissance de 2.

La méthode de Buys-Ballot consiste à construire le signal moyen sur une période en ajoutant un certain nombre de tranches du signal initial, tranches ayant la longueur d'une période. La tendance linéaire est retirée avant d'ajuster une sinusoïde.

Comme l'échantillonnage est fait toutes les 10 mn, l'application de la méthode pour la période de 24 h. utilise 29 tranches de 144 valeurs ; pour la période de 24 h. 50 mn, 28 tranches de 149 valeurs sont utilisées.

#### IV) RESULTATS EXPERIMENTAUX

##### Note sur la mise en page :

Le lecteur pourra peut être trouver parfois étrange la disposition des pages. Je me suis efforcé de faire en sorte que les graphiques et les tables qui s'y rapportent soient simultanément visibles.

De plus, il est possible de voir sur un même côté de page les éléments correspondants des trois séries de mesures.

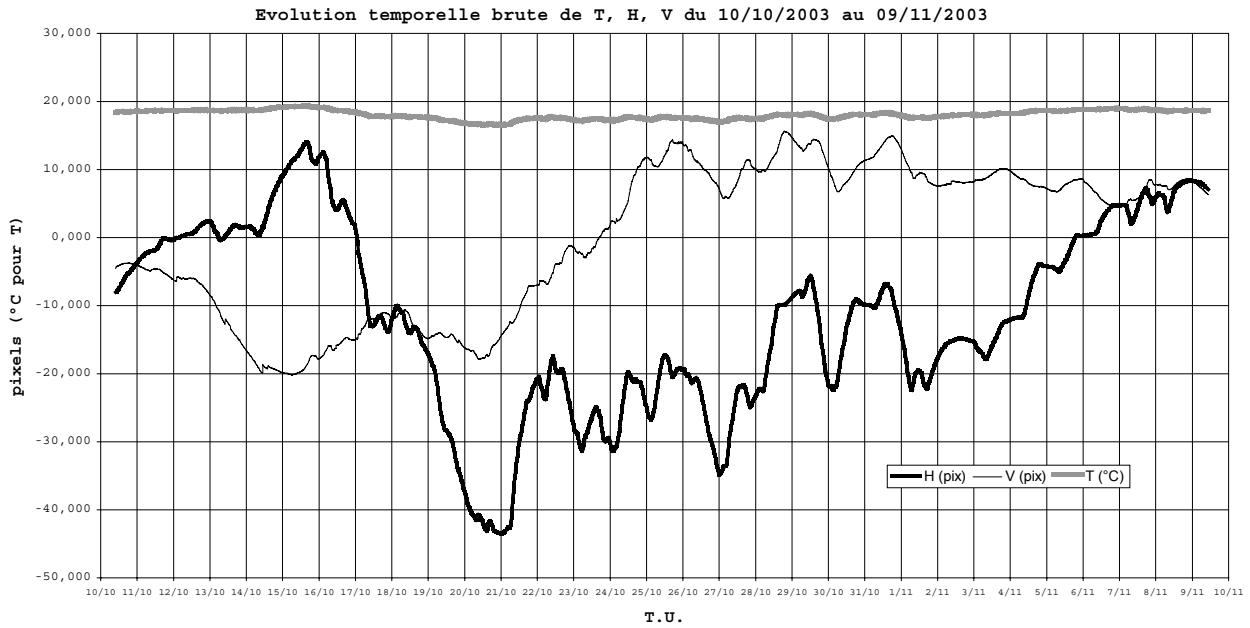
Ceci explique l'insertion de pages blanches qui peuvent surprendre.



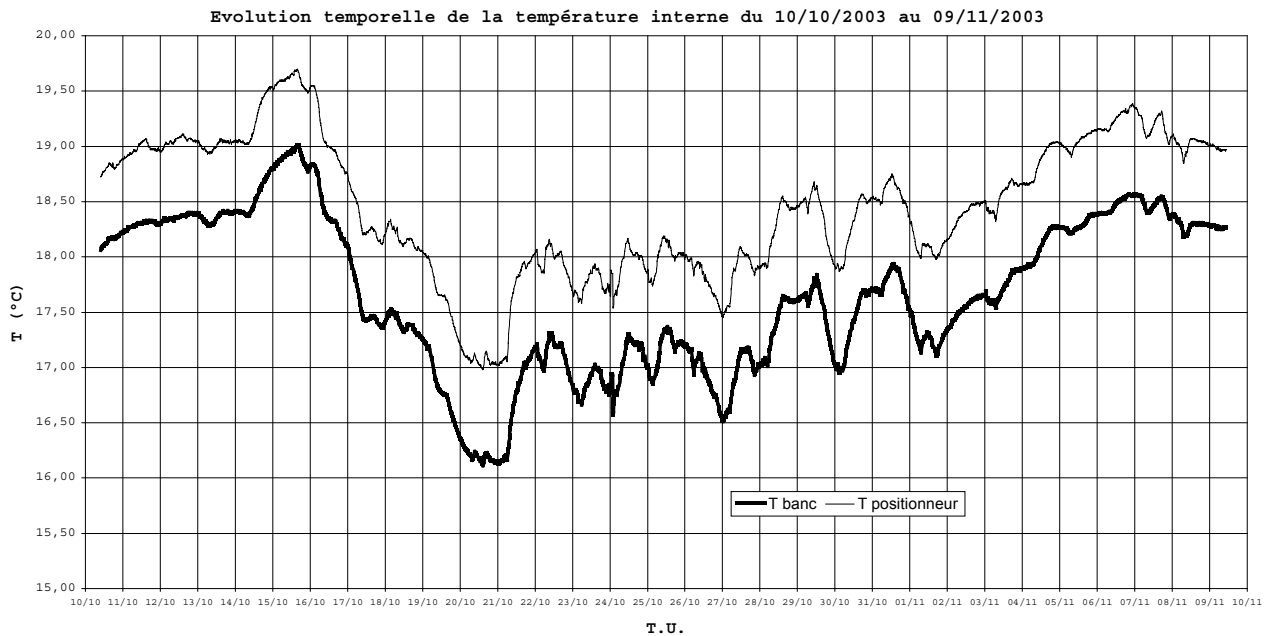
A) SERIE DU 10 OCTOBRE AU 9 NOVEMBRE 2003

La première série de 4326 mesures a été effectuée du 10/10/2003 09h50 au 09/11/2003 10h40.

Les courbes brutes sont présentées sur le graphique suivant :

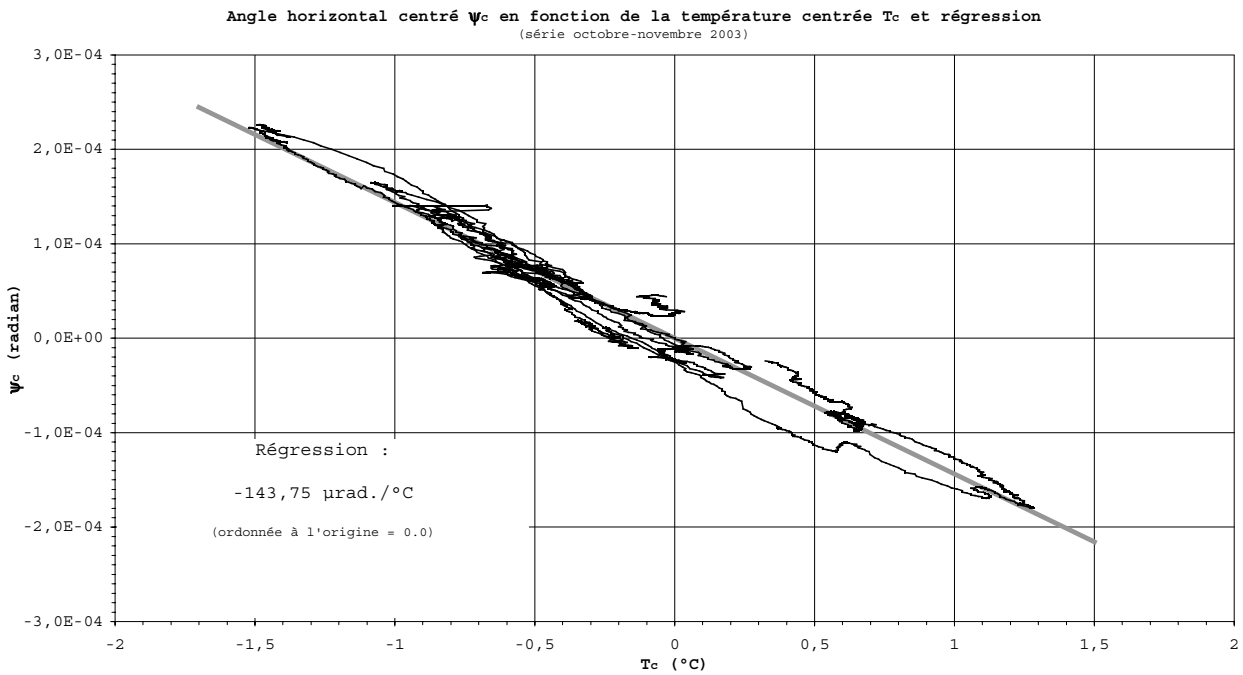


Présentée sur une échelle dilatée avec un léger décalage de zéro (sans importance, les valeurs centrées sont seules utilisées), les courbes de température sont :

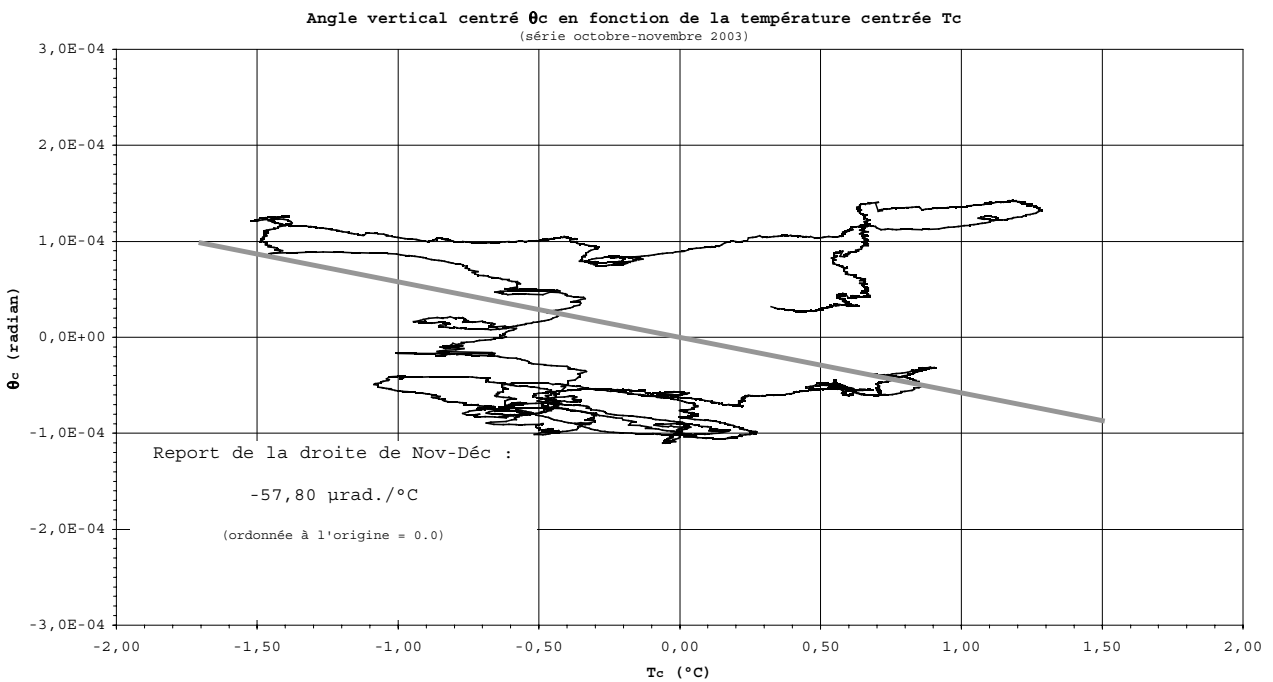


Leur excellente corrélation permet d'en faire la moyenne, ensuite centrée,  $T_c$ .

Afin de mettre en évidence les dépendances en température, les graphiques  $\psi_c(T_c)$  et  $\theta_c(T_c)$  ont été tracés :



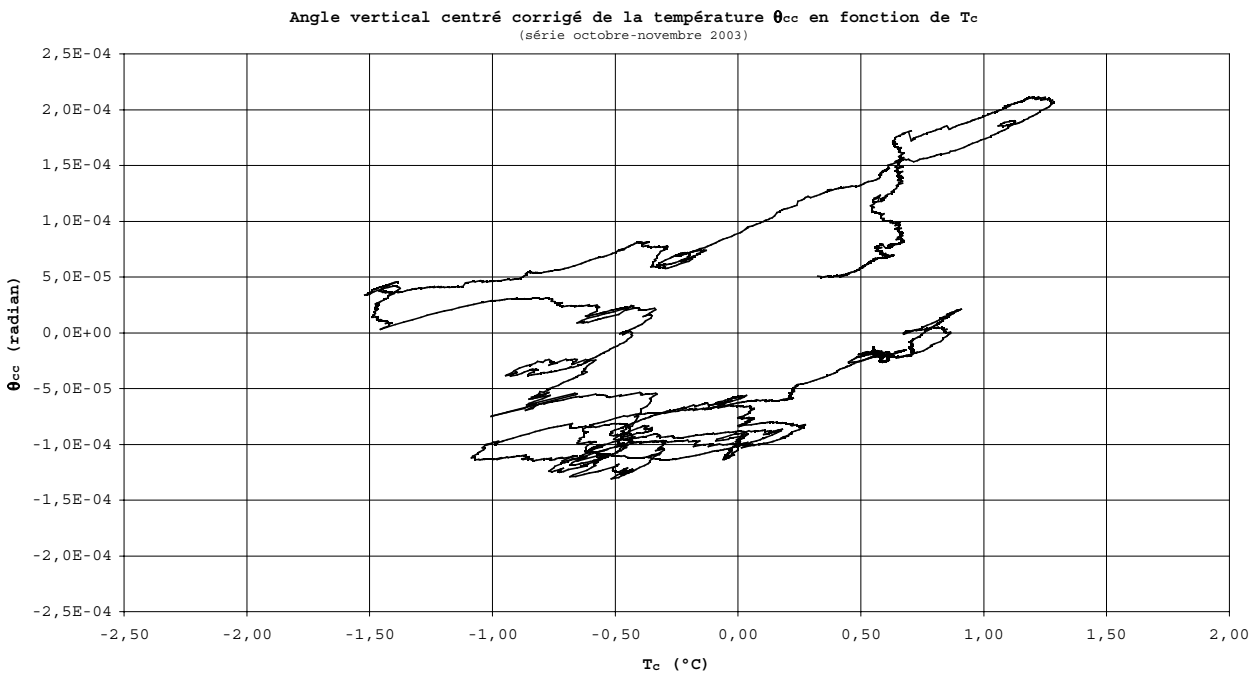
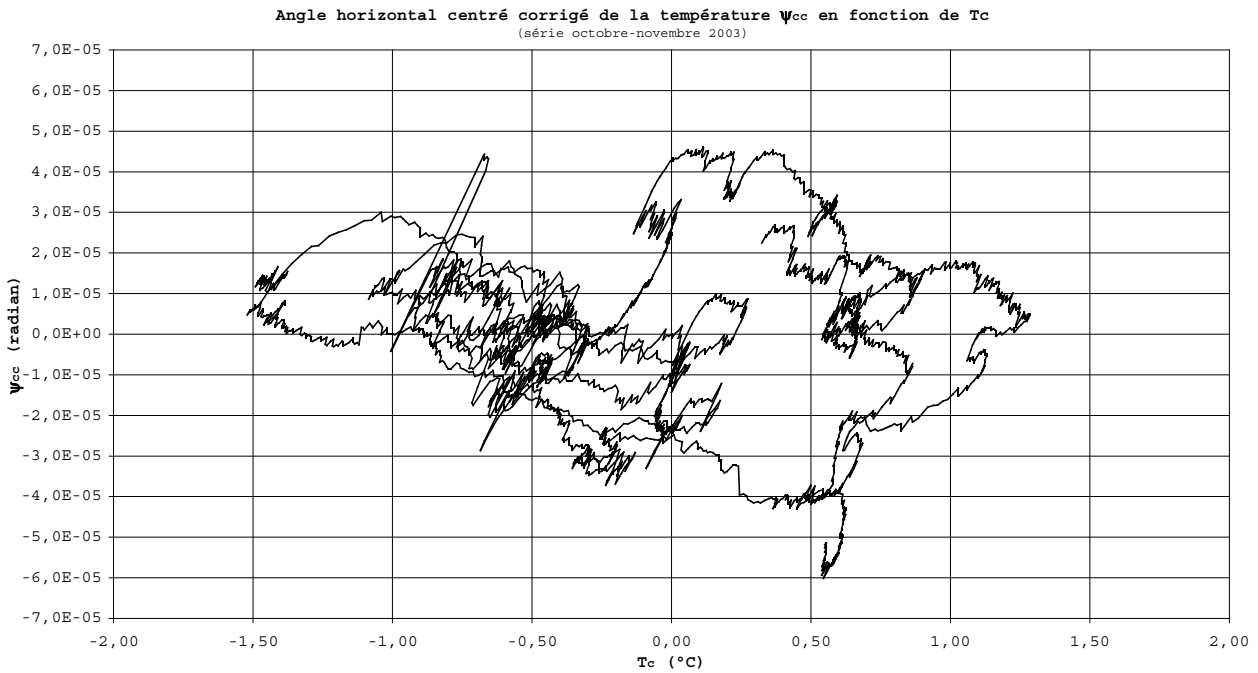
Sur ce premier graphique, une corrélation évidente avec la température incite à faire une régression linéaire qui fournit un coefficient de température de 143,75  $\mu\text{radian par degré centigrade}$  pour l'angle  $\psi_c$ .



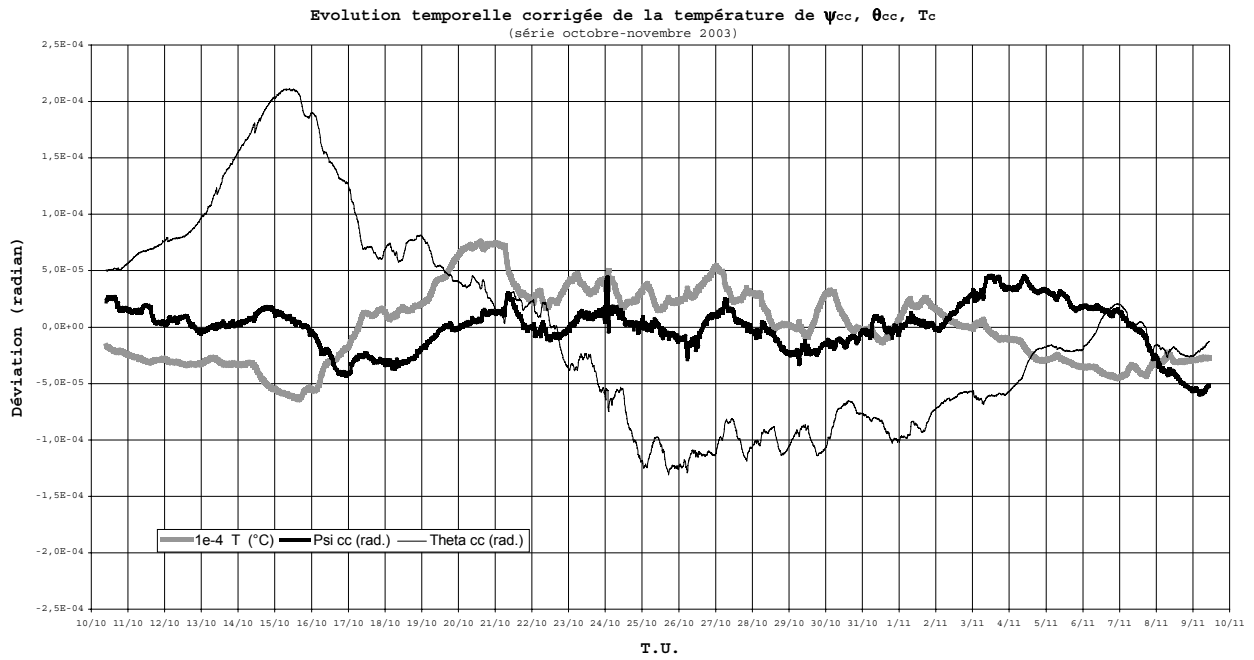
Le graphique de  $\theta_c$  ne permet pas a priori une régression suivant  $T_c$ ,

la droite de régression déduite d'une zone caractéristique du graphique de novembre-décembre a cependant été reportée pour information. Elle a un coefficient de -57,80 uradian par °C.

Les signaux corrigés, dorénavant utilisés, sont ainsi  $\psi_{cc}$  et  $\theta_{cc}$  dont on voit maintenant sur les graphiques suivants qu'ils ne dépendent plus de la température :



L'évolution temporelle corrigée est reproduite sur le graphique suivant :





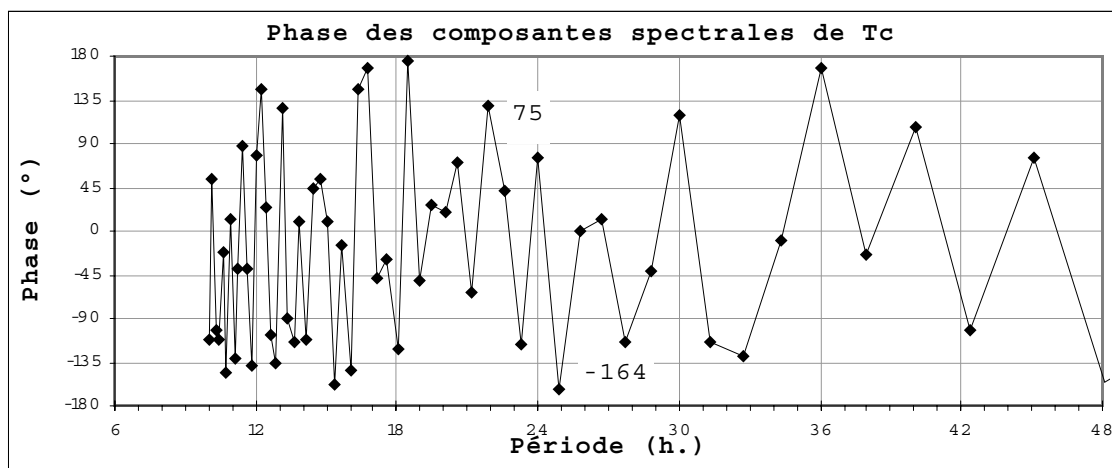
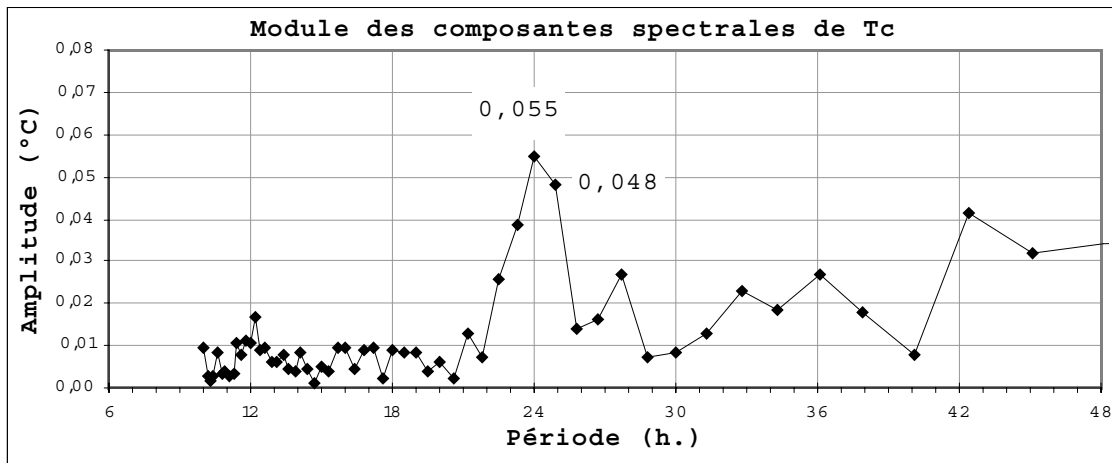
On analyse successivement les signaux de température  $T_c$ , d'angle vertical  $\theta_c$  et d'angle horizontal  $\psi_c$ .

Outre les amplitudes des deux composantes auxquelles on s'intéresse, on doit mettre particulièrement en évidence les relations de phase. En effet, les influences de la température (normalement retirées par régression) doivent être en phase avec les effets de la dilatation sur les échelles de temps considérées. Une déviation angulaire très déphasée par rapport à la température ne peut être un résidu non éliminé de la régression.

La culmination solaire est notée C.S., la culmination lunaire C.L.

## ANALYSE DE LA VARIATION DE TEMPERATURE $T_c$

Pour  $T_c$  on obtient les graphiques suivants :



Un résumé commode de ces graphiques tient dans la table :

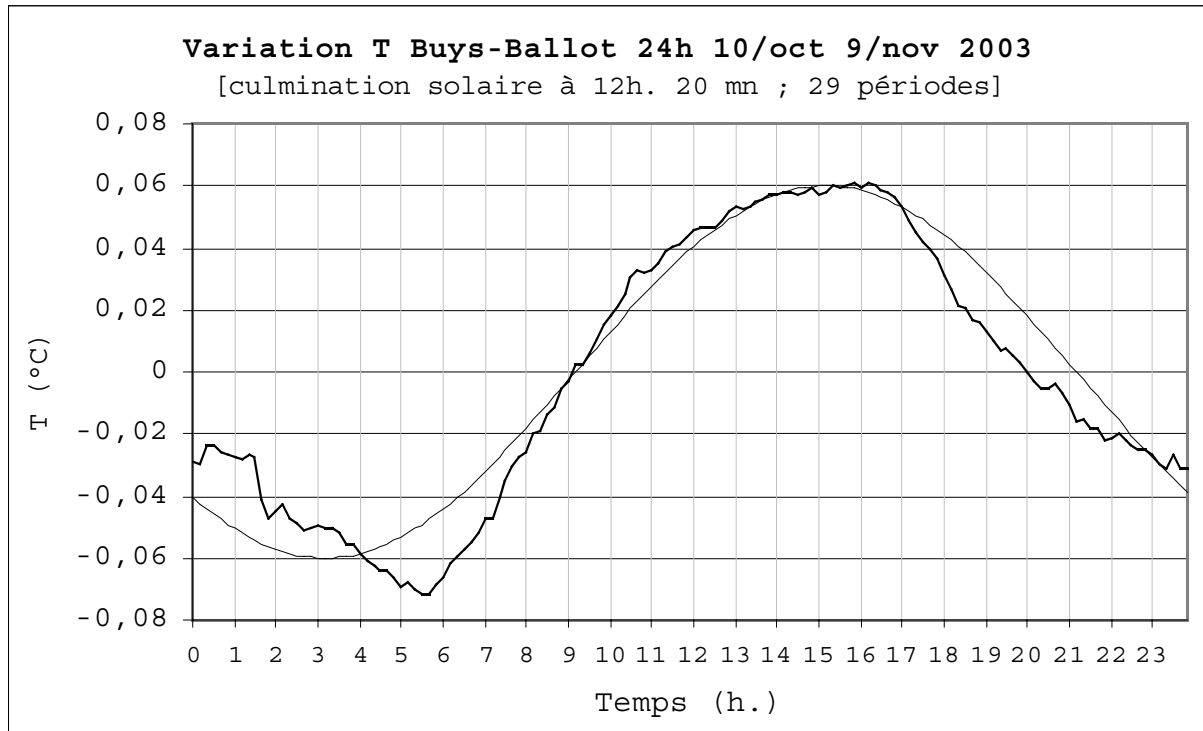
<i>Période (h.)</i>	<i>Amplitude (°C)</i>	<i>Phase (origine 10/9/2003 9 h. 50 mn)</i>
24	0,055	75° (+ 5 h.)
24,86	0,048	-164 (- 11 h. 20 mn)

Aux périodes de 24 h. et 24,86 h., les amplitudes sont similaires (0,055°C et 0,048°C) avec un rapport de 1,146.

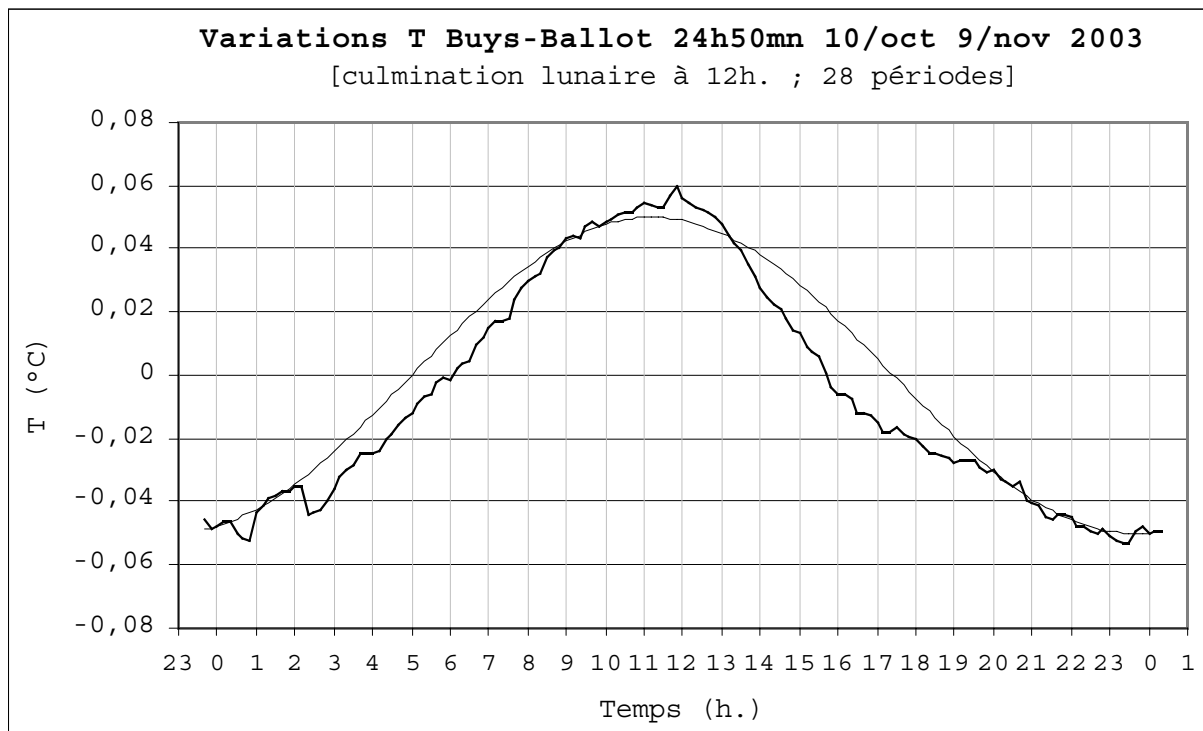
On notera qu'à 24 h. de période, la composante est plus près de la quadrature (maximum vers 15 h. 30 mn compte tenu de l'origine de la série à 9 h. 50). A 24,86 h., la composante est plus près de l'antiphase avec un maximum vers 22 h. 30 mn sur la première période.



En appliquant la méthode de Buys-Ballot, la visualisation des phases est plus facile comme le montrent les graphiques suivants :



Le maximum de température de la composante de 24 h. est vers 15 h. 30 mn T.U.



Le maximum de la composante de 24,86 h. est à 1 h. avant la culmination lunaire prise comme milieu de période.

## ANALYSE DE LA DEVIATION VERTICALE $\theta_{cc}$

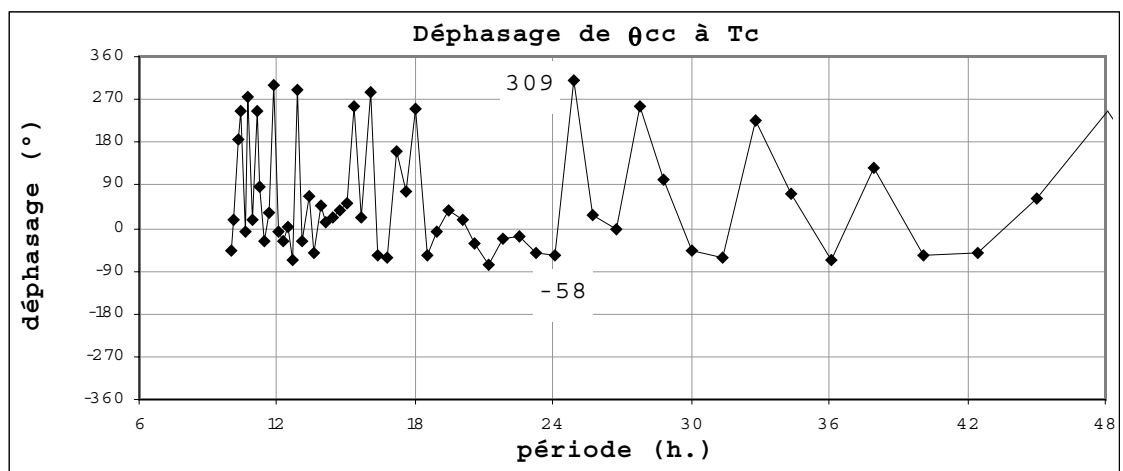
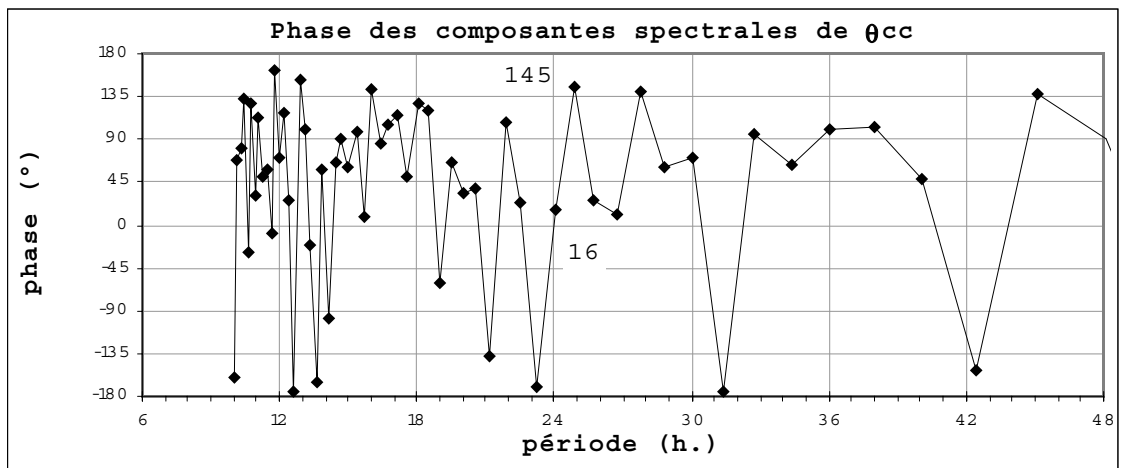
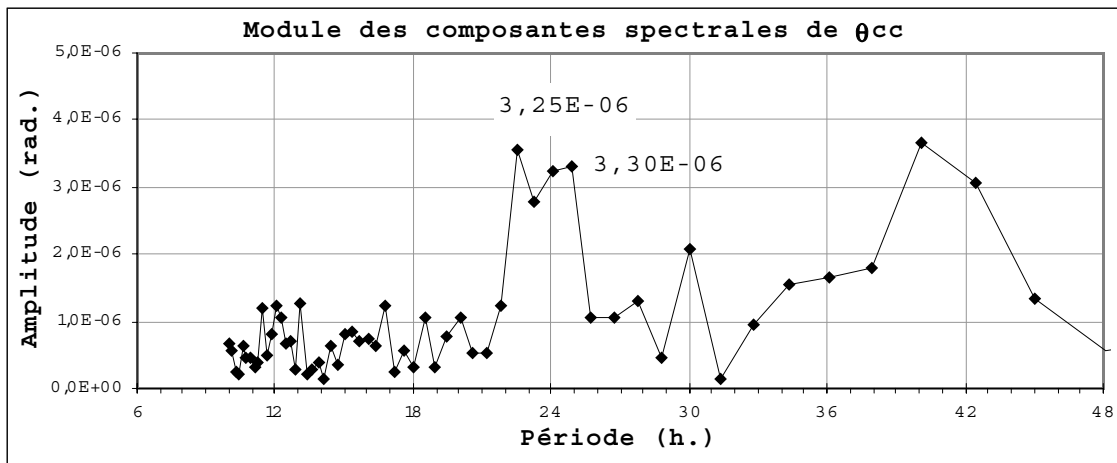
Les graphiques ci-contre permettent de donner la table suivante résumant pour  $\theta_{cc}$  les caractéristiques des deux composantes de 24 h. et 24,86 h. :

<i>Période (h.)</i>	<i>Amplitude (<math>\mu</math>rad.)</i>	<i>Phase (<math>^{\circ}</math>)</i>	<i>Déphasage à <math>T_c</math></i>
24	3,25	16	-58° (- 3 h. 52 mn)
24,86	3,30	145	309° (- 3 h. 31 mn)

Les amplitudes des composantes de 24 h. et 24,86 h. sont quasiment égales (3,25  $\mu$ rad. et 3,30  $\mu$ rad.) avec un rapport de 0,985.

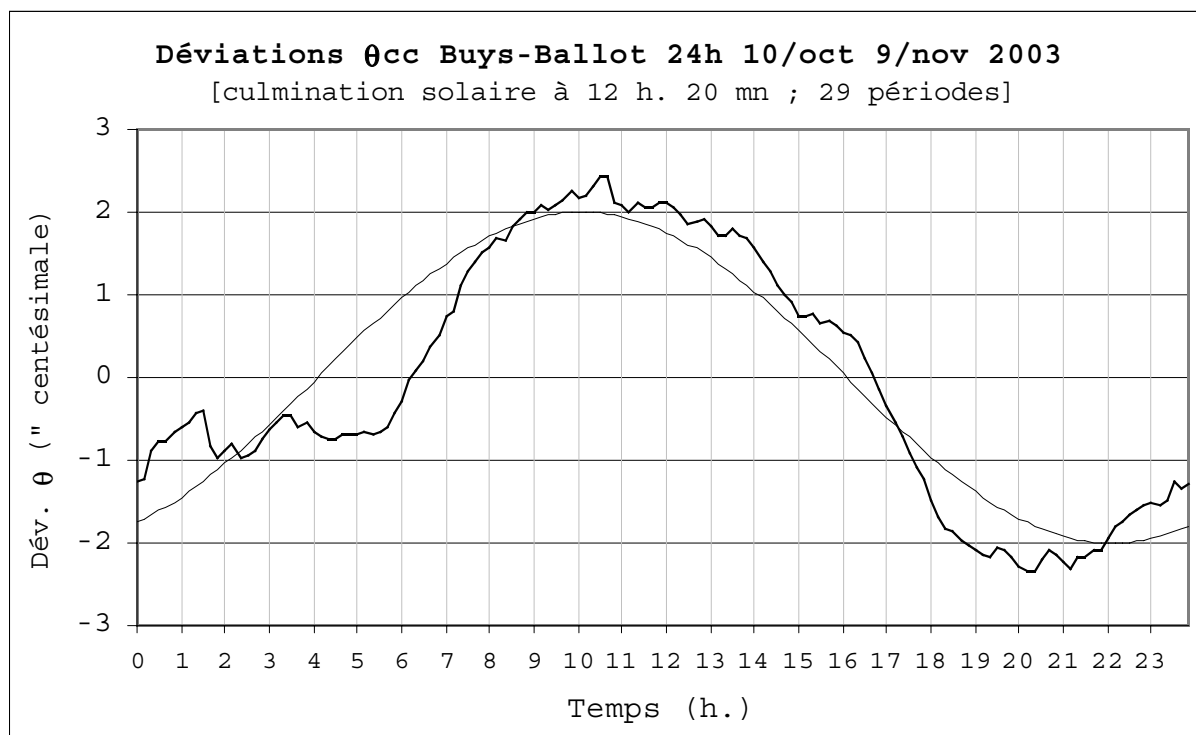
La composante de 24 h. avance d'environ 4 h. sur la température.

La composante de 24,86 h. est en avance de 3 à 4 h. sur la température.

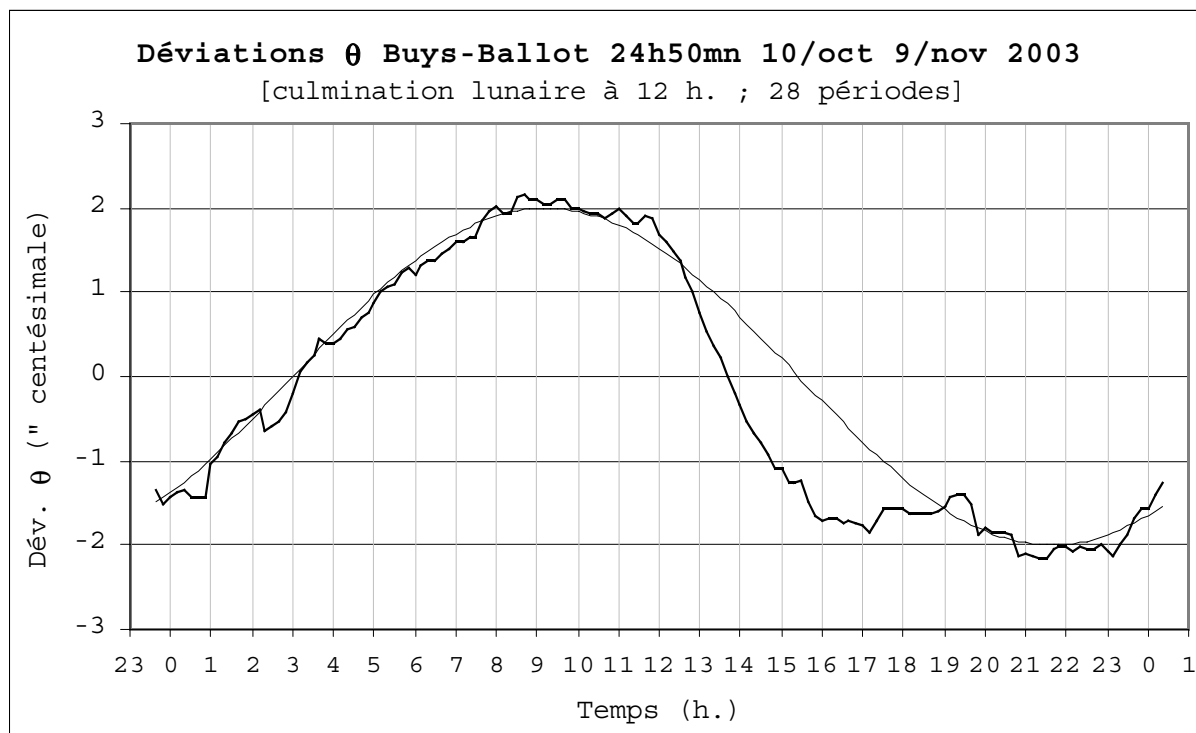


Pour visualiser les périodes et comparer aux graphiques de M.Allais, on peut appliquer la méthode de Buy-Ballot et exprimer les angles en secondes centésimales (1" cent = 1,571  $\mu$ rad.).

On a :



Le maximum de la composante de 24 h. de  $\theta_{cc}$  est vers 10 h.



Le maximum de la composante de 24,86 h. de  $\theta_{cc}$  avance de 3 h. sur la culmination lunaire.



## ANALYSE DE LA DEVIATION HORIZONTALE $\psi_{cc}$

Des graphiques ci-contre, on extrait la table ci-dessous, celle-ci résume pour  $\psi_{cc}$  les caractéristiques des deux composantes de 24 h. et 24,86 h. :

<i>Période (h.)</i>	<i>Amplitude (<math>\mu\text{rad.}</math>)</i>	<i>Phase (<math>^\circ</math>)</i>	<i>Déphasage à <math>T_c</math></i>
24	2,10	26	$-49^\circ$ (- 3 h. 16 mn)
24,86	1,83	86	$250^\circ$ (- 7 h. 36 mn)

En particulier la relation de phase entre  $\psi_{cc}$  et  $\theta_{cc}$  est résumée ici :

<i>Période (h.)</i>	<i>Déphasage à <math>\theta_{cc}</math></i>
24	$9^\circ$ (36 mn)
24,86	$-59^\circ$ (- 4 h. 4 mn)

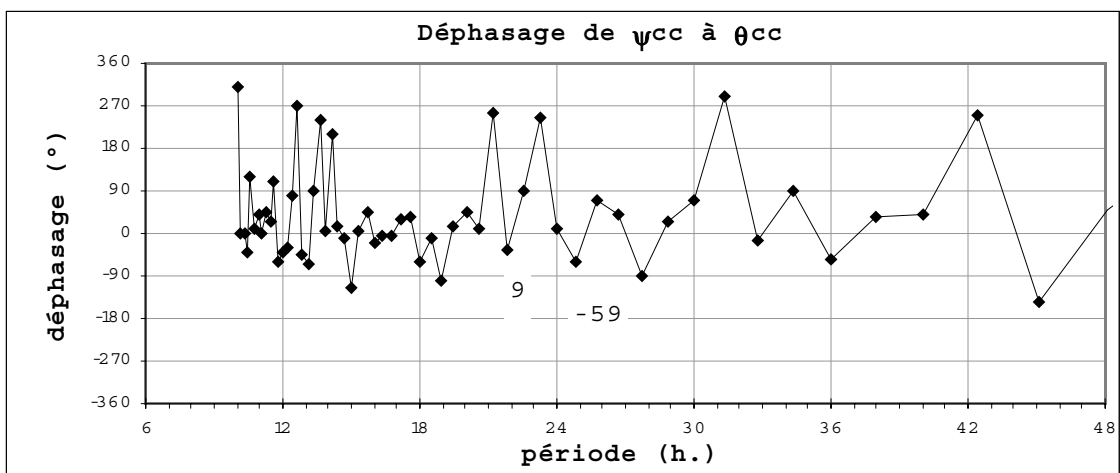
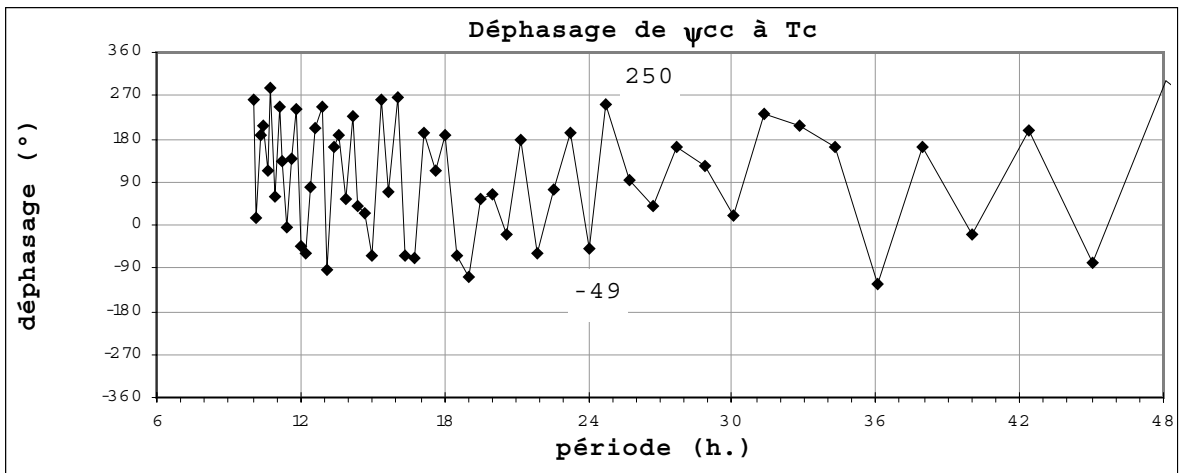
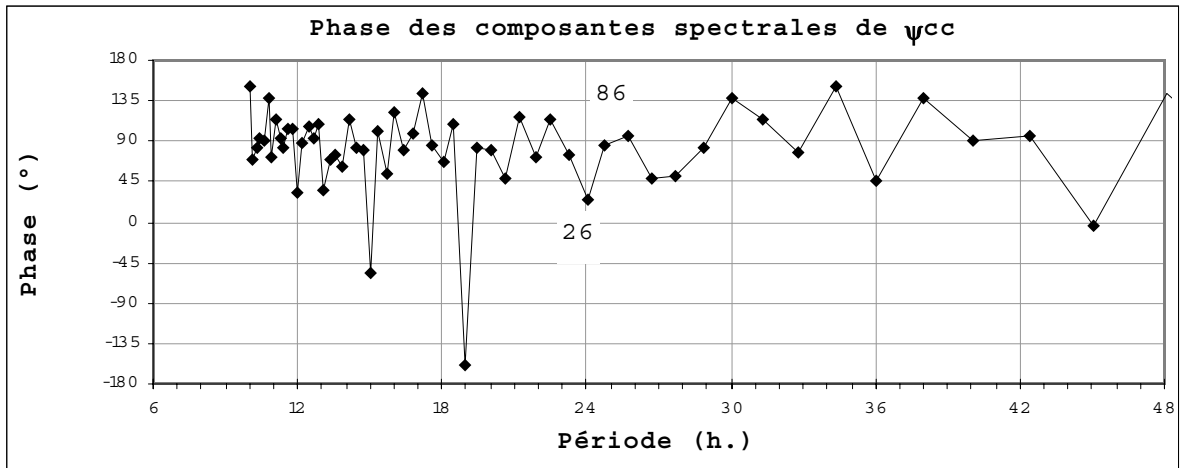
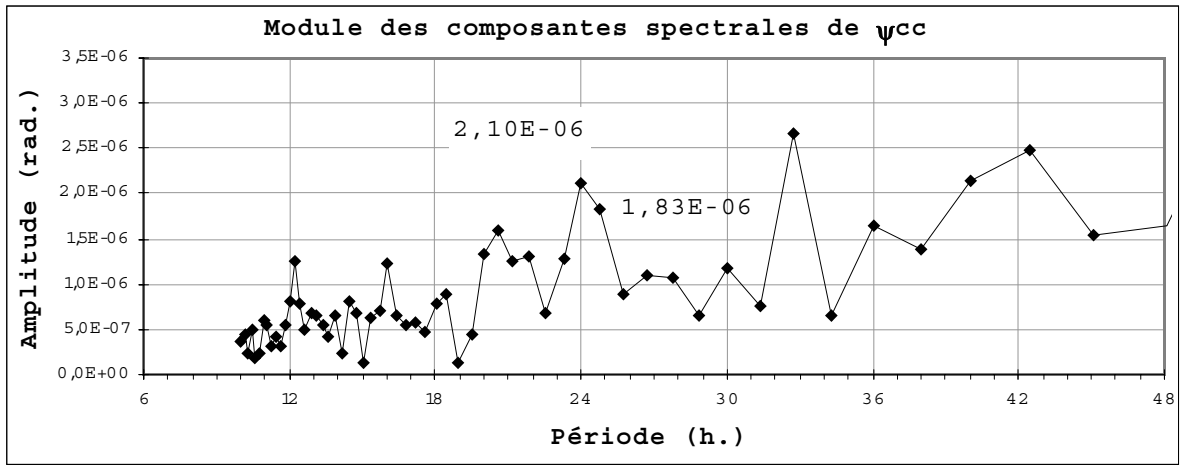
Où l'on voit qu'à 24 h.,  $\psi_{cc}$  et  $\theta_{cc}$  sont en phase ; à 24,86 h. ils sont plus près de la quadrature.

Les amplitudes des composantes de 24 et 24,86 h. sont de 2,10  $\mu\text{rad.}$  et 1,83  $\mu\text{rad.}$ , avec un rapport de 1,148 presque égal à celui des composantes de  $T_c$ .

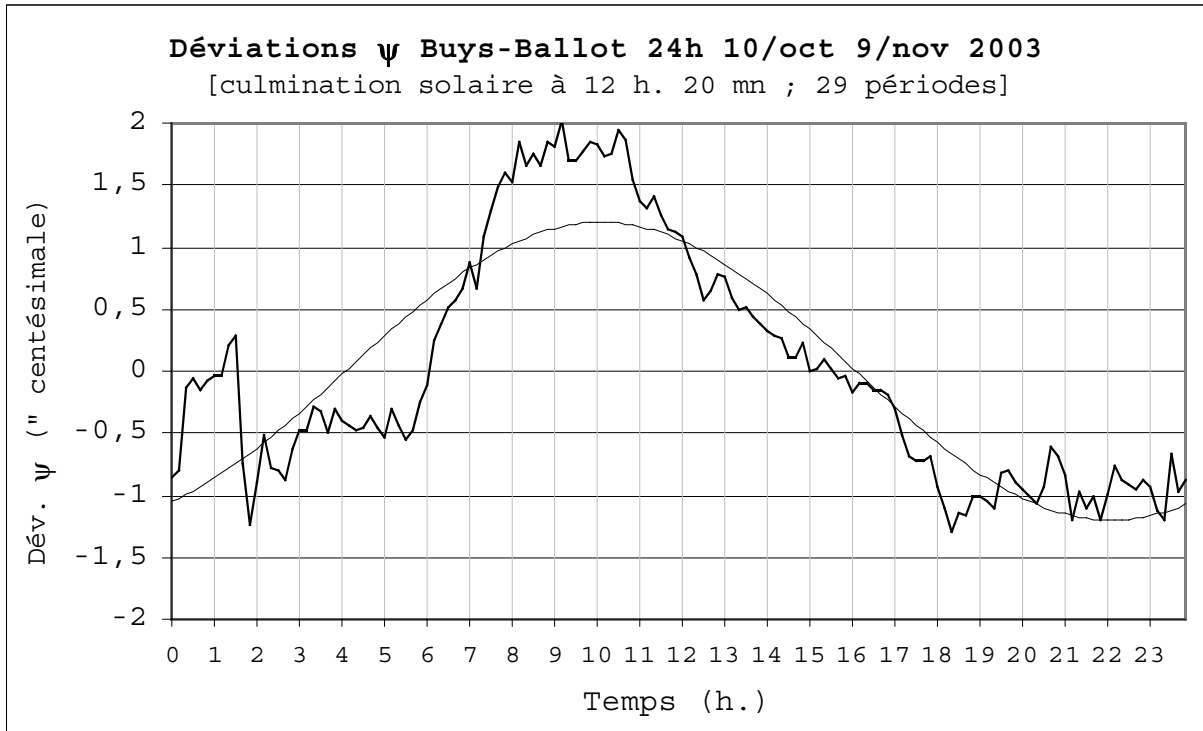
A la composante de 24 h.,  $\psi_{cc}$  avance de 3 h. 15 mn sur  $T_c$  ( $-49^\circ$ ). Pour la composante de 24,86 h.,  $\psi_{cc}$  avance de 7 h. 36 mn sur  $T_c$  ( $250^\circ$ ).

La composante de 24 h. de  $\psi_{cc}$  est à seulement  $9^\circ$  (36 mn) de celle de  $\theta_{cc}$ , elles sont donc pratiquement en phase pour la période de 24 h. mais 3 à 4 h. avant la température.

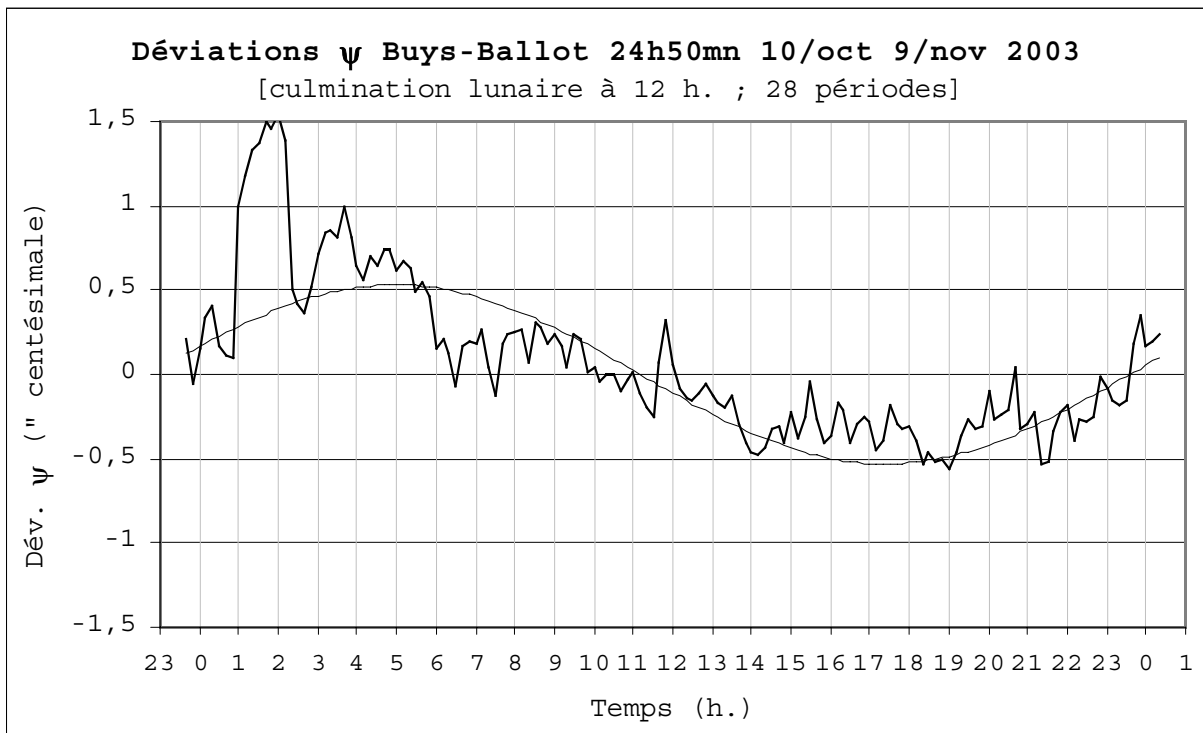
Ils sont plus près de la quadrature pour la composante de 24,86 h., avec là aussi des décalages d'au moins 3 h. sur la température.



La visualisation des phases par la méthode de Buy-Ballot donne une représentation plus claire de la phase :



Le maximum de la composante de 24 h. de  $\psi_{cc}$  est vers 10 h.



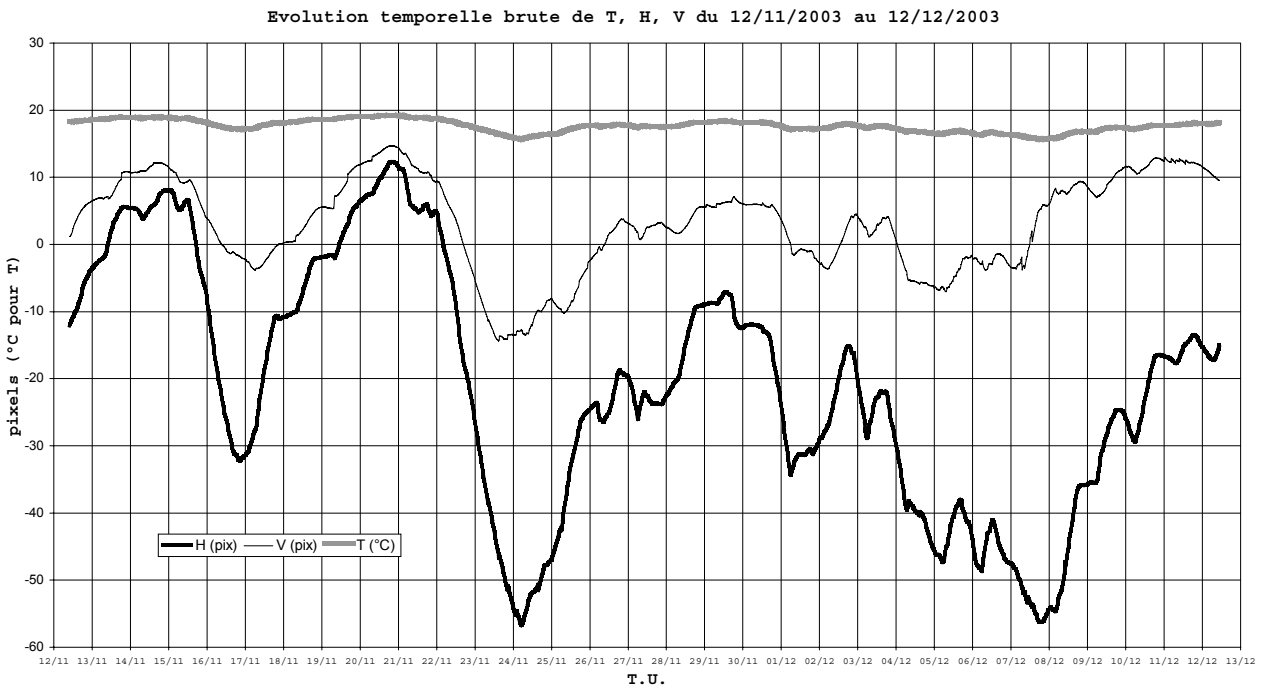
Le maximum de la composante de 24,86 h. de  $\psi_{cc}$  avance de 7 h. sur la culmination lunaire (et en avance de 4 h. sur  $\theta_{cc}$ ).



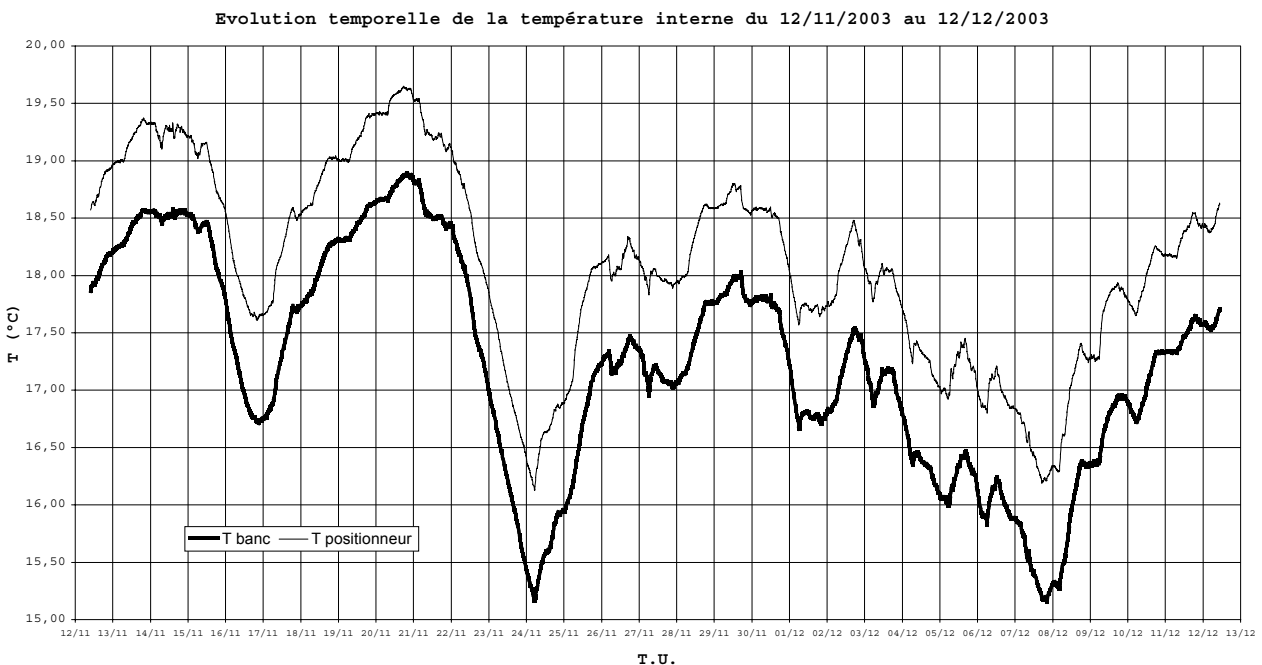
B) SERIE DU 12 NOVEMBRE AU 12 DECEMBRE 2003

La seconde série de 4326 mesures a été effectuée du 12/11/2003 9 h. 50 mn au 12/12/2003 10 h. 40 mn.

Les courbes brutes sont présentées sur le graphique suivant :

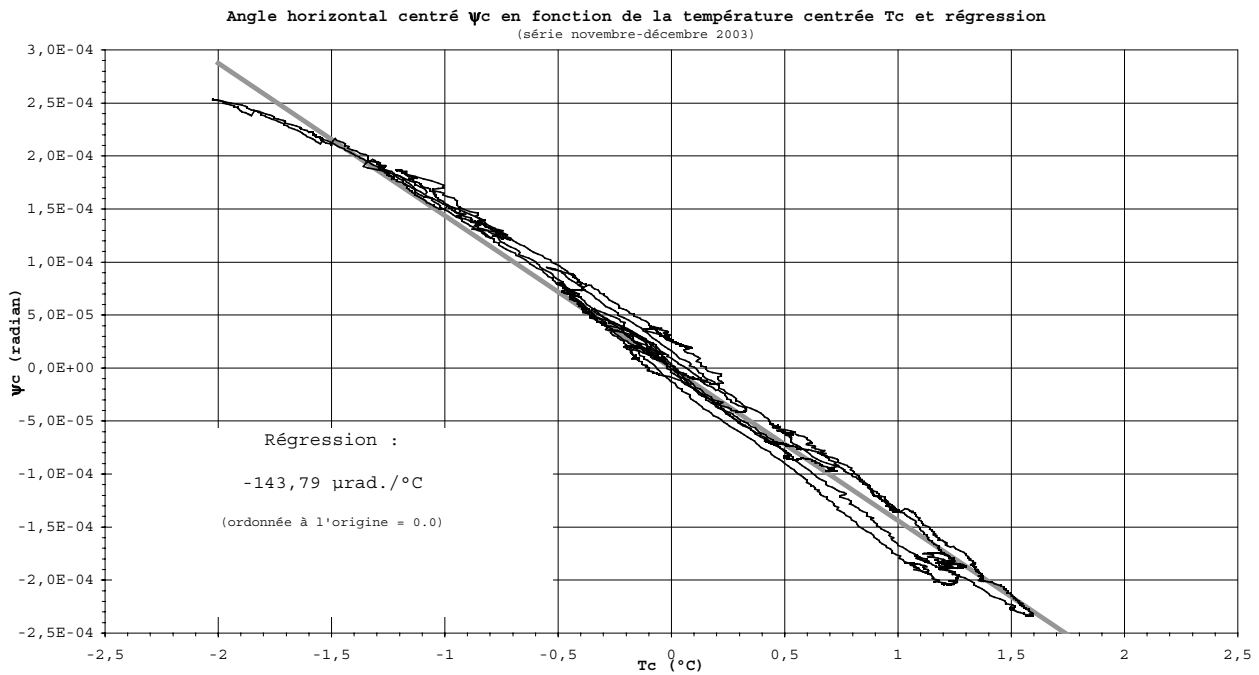


Présentée sur une échelle dilatée avec un léger décalage de zéro (sans importance, les valeurs centrées sont seules utilisées), les courbes de température sont :

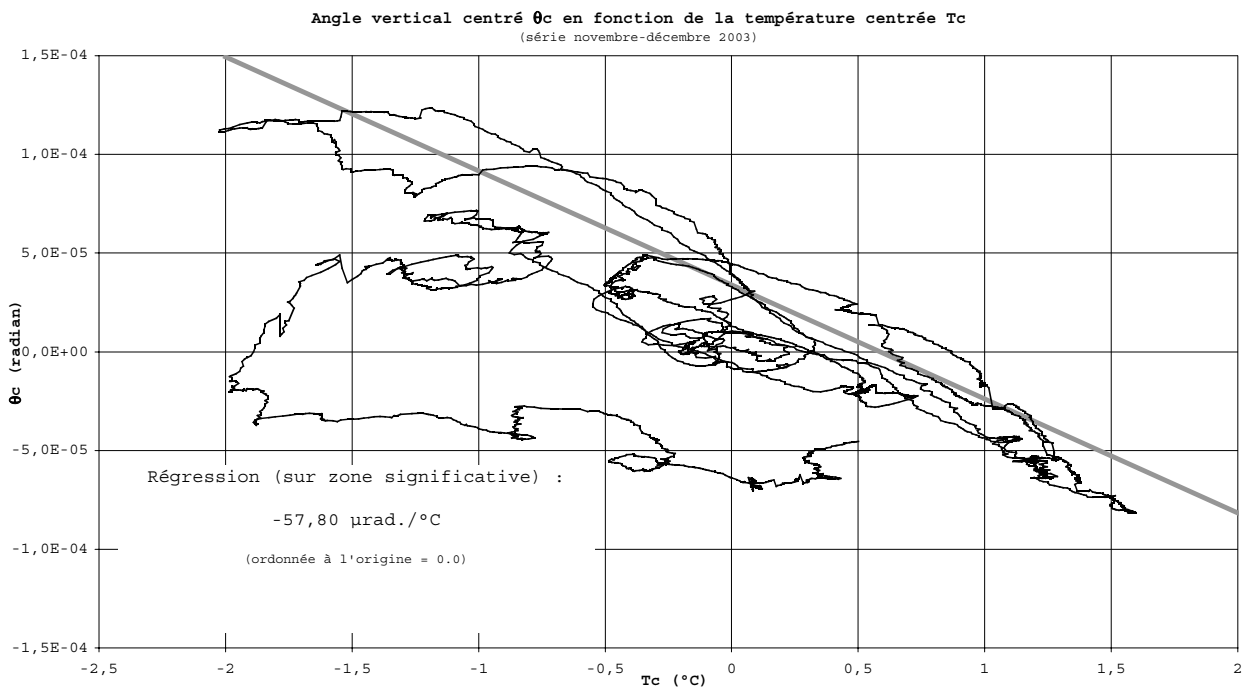


Leur excellente corrélation permet d'en faire la moyenne  $T_c$ .

Afin de mettre en évidence les dépendances en température, les graphiques  $\psi_c(T_c)$  et  $\theta_c(T_c)$  ont été tracés :



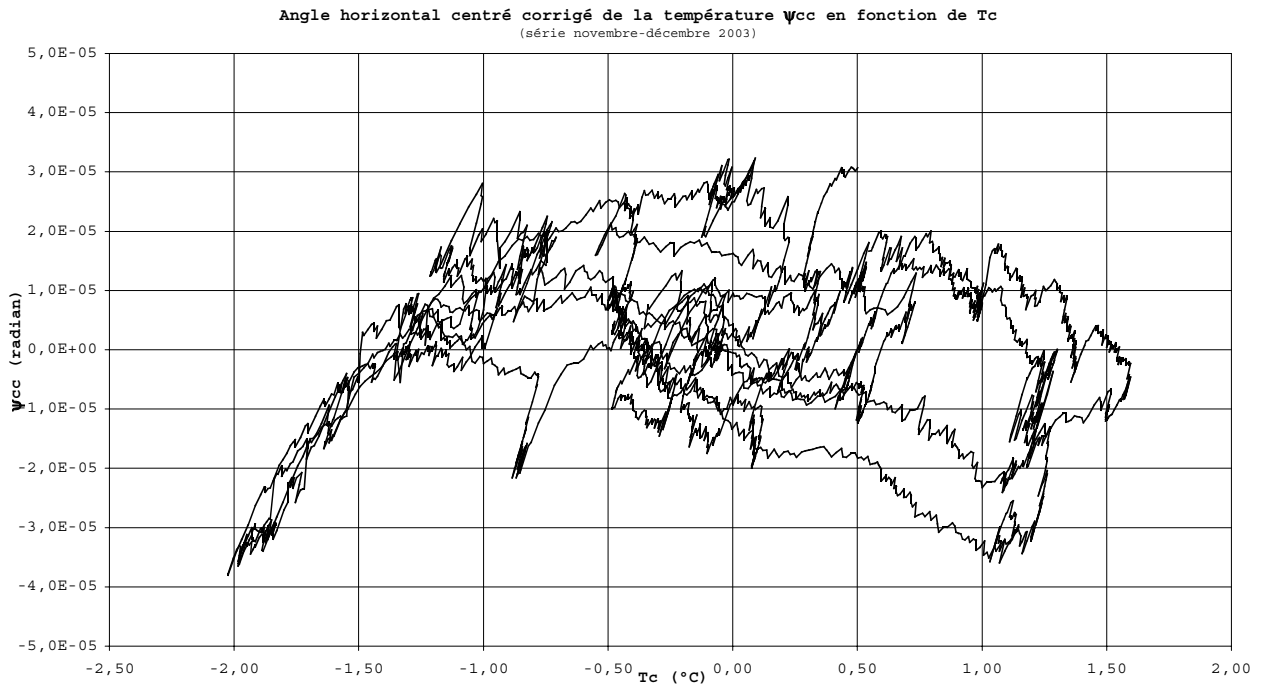
Sur ce graphique, une corrélation évidente avec la température incite à faire une régression linéaire qui fournit un coefficient de température de 143,79  $\mu\text{radian par degré centigrade}$  pour l'angle  $\psi_c$ . Valeur quasiment identique à celle de la série précédente.



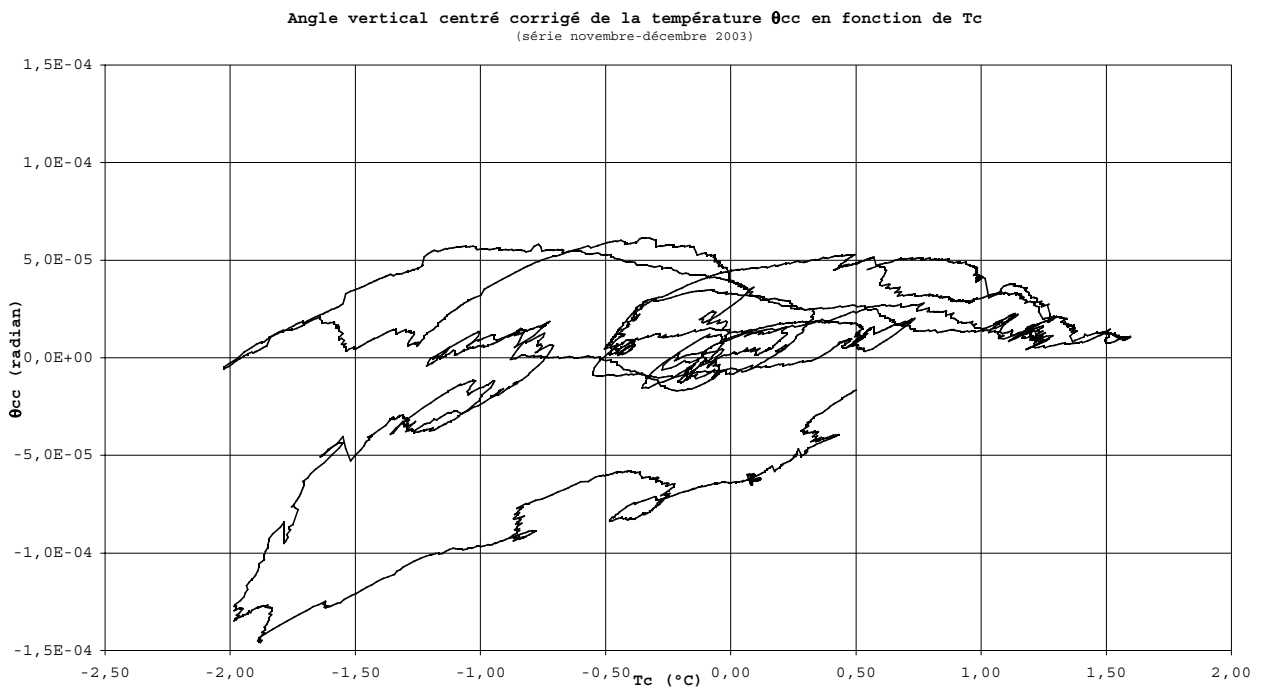
Sur la variation de température ample et presque linéaire du 22/11 et 23/11, une régression permet d'estimer le coefficient de température pour  $\theta_c$  à 57,80  $\mu\text{rad./}^\circ\text{C}$ . Valeur utilisée pour corriger la série précédente.

Par soustraction des valeurs de la droite de régression, les signaux sont corrigés.

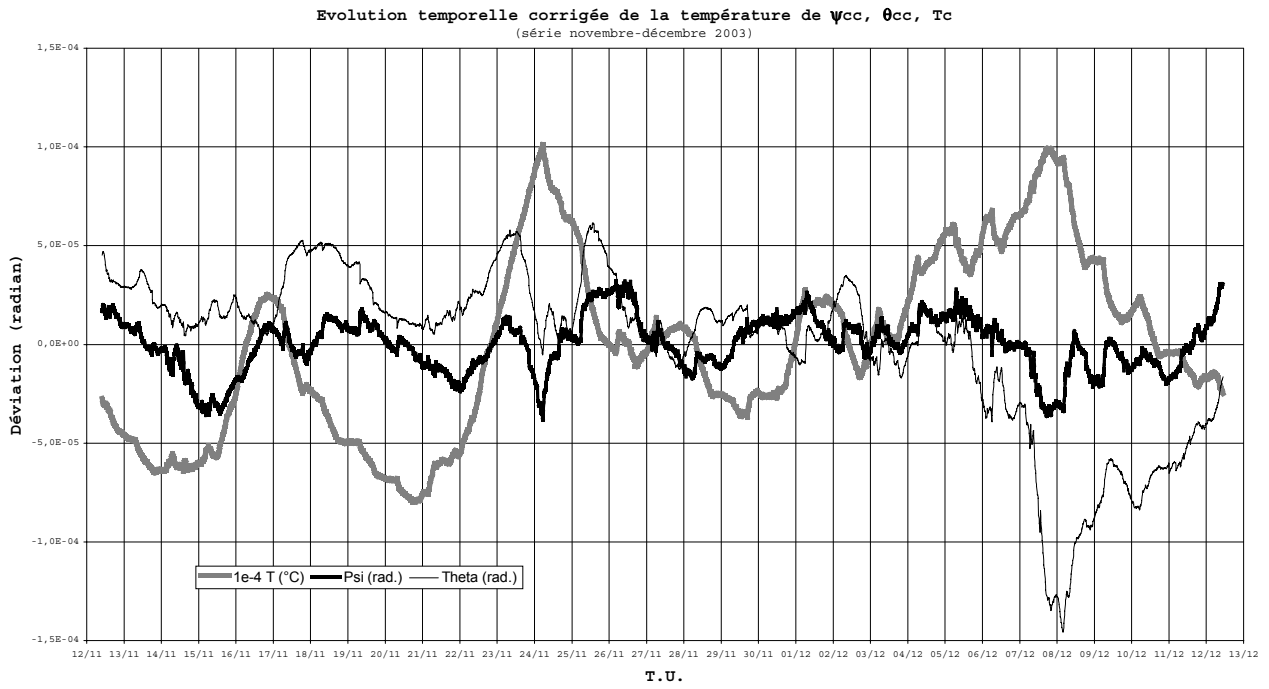
Les signaux corrigés dorénavant utilisés sont ainsi  $\psi_{cc}$  :



et  $\theta_{cc}$  :

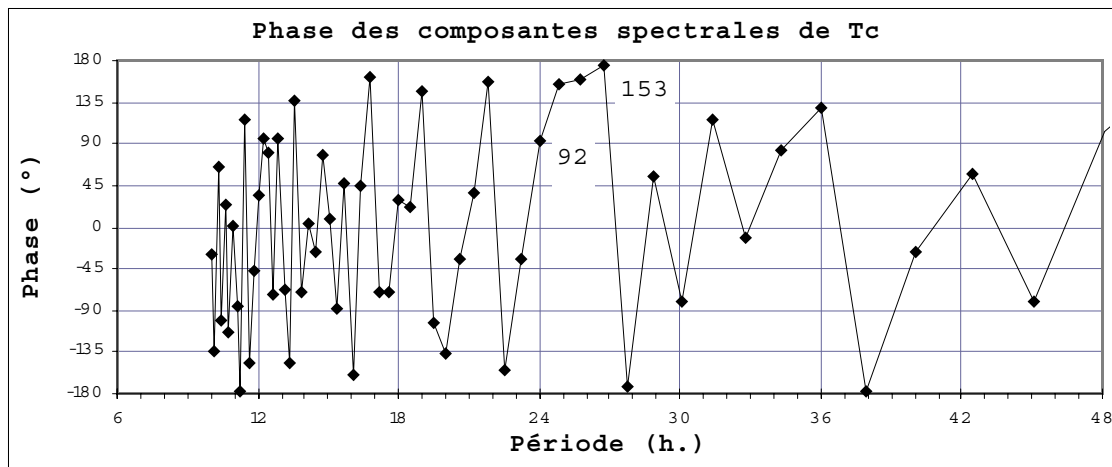
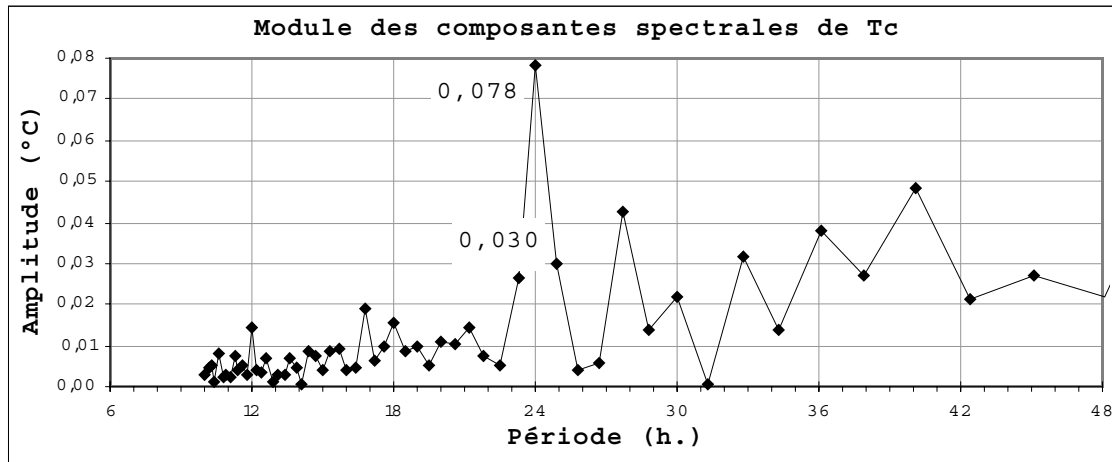


L'évolution temporelle corrigée est reproduite sur le graphique suivant :



## ANALYSE DE LA VARIATION DE TEMPERATURE $T_c$

Pour  $T_c$  on obtient les graphiques suivants :

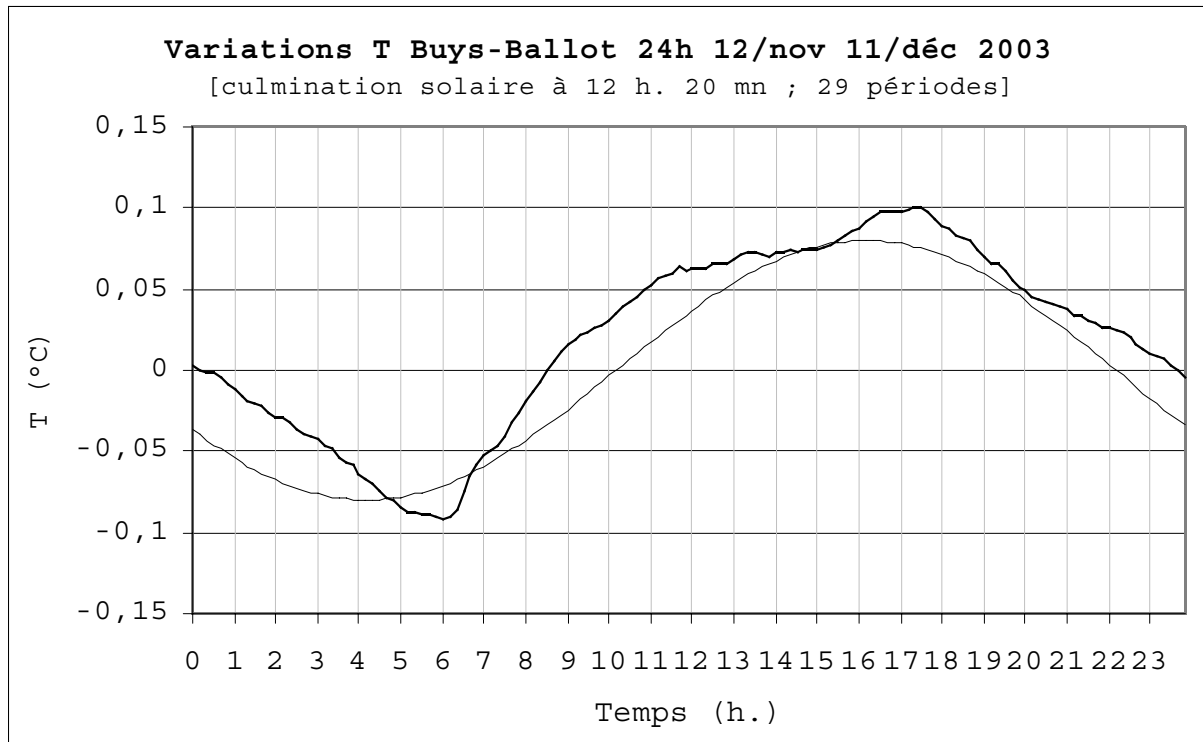


<i>Période (h.)</i>	<i>Amplitude (°C)</i>	<i>Phase (origine 12/11/2003 9 h. 50 mn)</i>
24	0,078	92° (+ 6 h. 8 mn)
24,86	0,030	153° (+ 10 h. 34 mn)

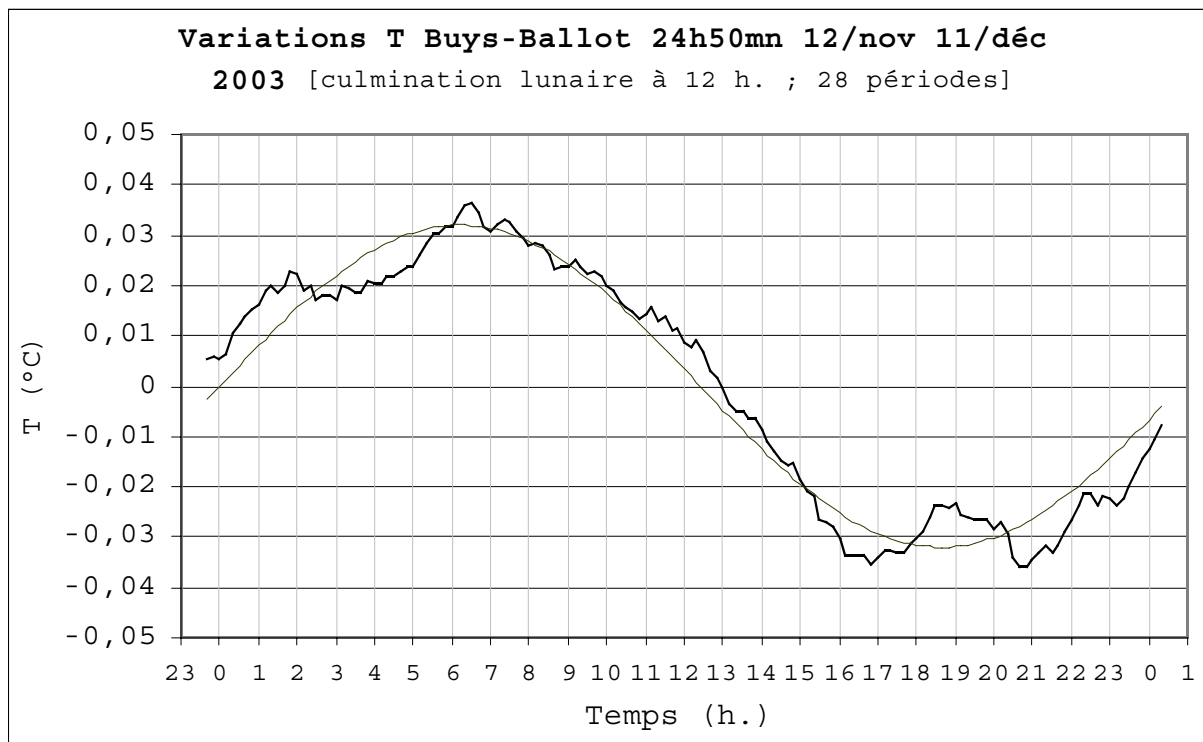
A 24 h. de période, la composante est très près de la quadrature (maximum vers 16 h. en première période compte tenu de l'origine de la série à 9 h. 50 mn). A 24,86 h., la composante est plus près de l'anti-phase avec un maximum vers 20 h. sur la première période.

Les amplitudes sont plus dissemblables que la série d'octobre-novembre, avec, à 24 h. et 24,86 h., 0,078°C et 0,030°C respectivement, soit un rapport de 2,6. l'amplitude de 24,86 h. reste cependant comparable à celle d'octobre-novembre.

Afin de visualiser la situation en phase, appliquons la méthode de Buys-Ballot :



Le maximum de la composante de 24 h. de  $T_c$  est vers 16 h.



Le maximum de la composante de 24,86 h. de  $T_c$  avance de 6 h. sur la culmination lunaire.

## ANALYSE DE LA DEVIATION VERTICALE $\theta_{cc}$

Les graphiques ci-contre permettent de donner la table suivante résumant pour  $\theta_{cc}$  les caractéristiques des deux composantes de 24 h. et 24,86 h. :

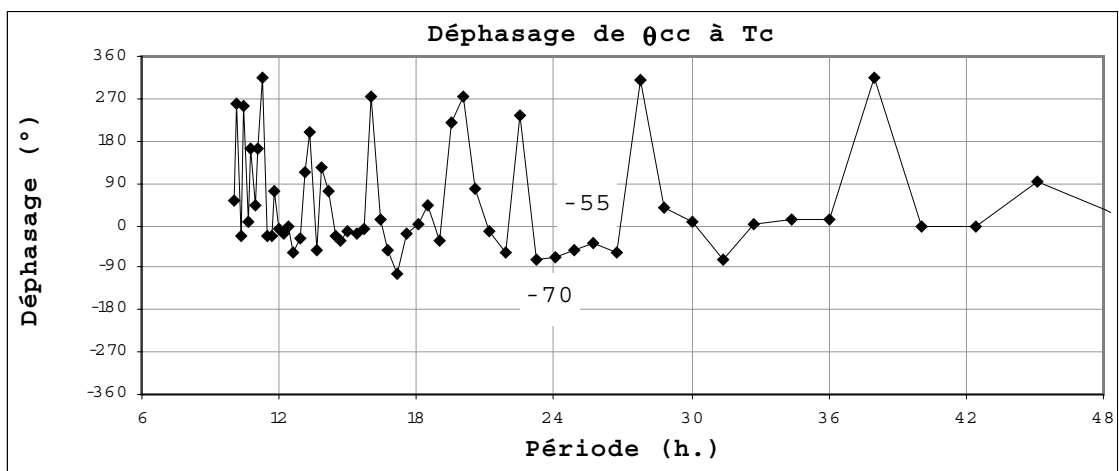
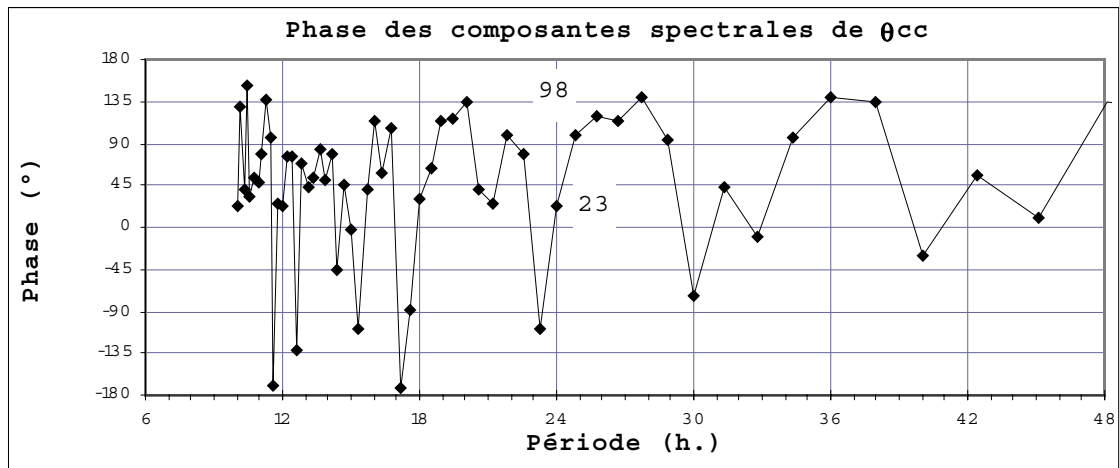
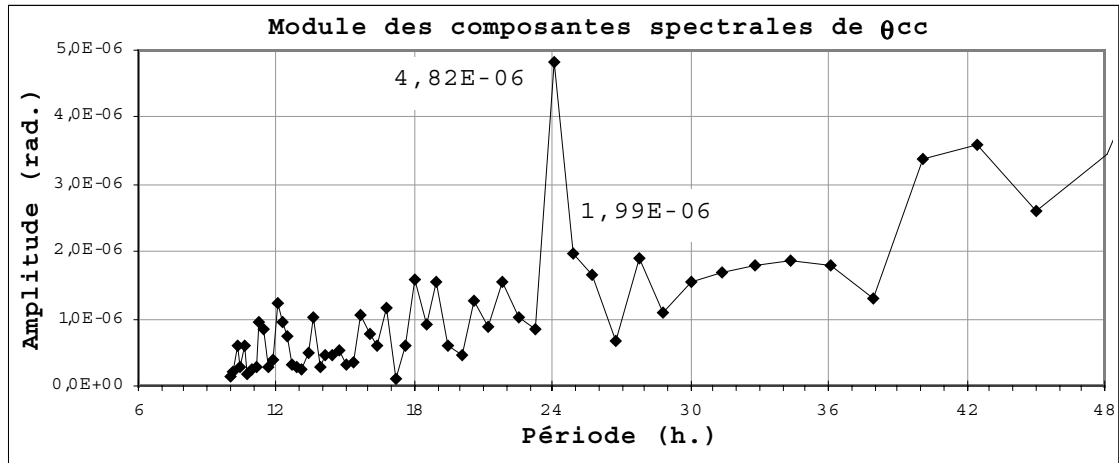
<i>Période (h.)</i>	<i>Amplitude (<math>\mu</math>rad.)</i>	<i>Phase (<math>^{\circ}</math>)</i>	<i>Déphasage à Tc</i>
24	4,82	23	-70° (- 4 h 40 mn)
24,86	1,99	98	-55° (- 3 h 48 mn)

Les amplitudes des composantes de 24 h. et 24,86 h. sont plus dissemblables que le mois précédent (4,82  $\mu$ rad. et 1,99  $\mu$ rad.) avec un rapport de 2,42.

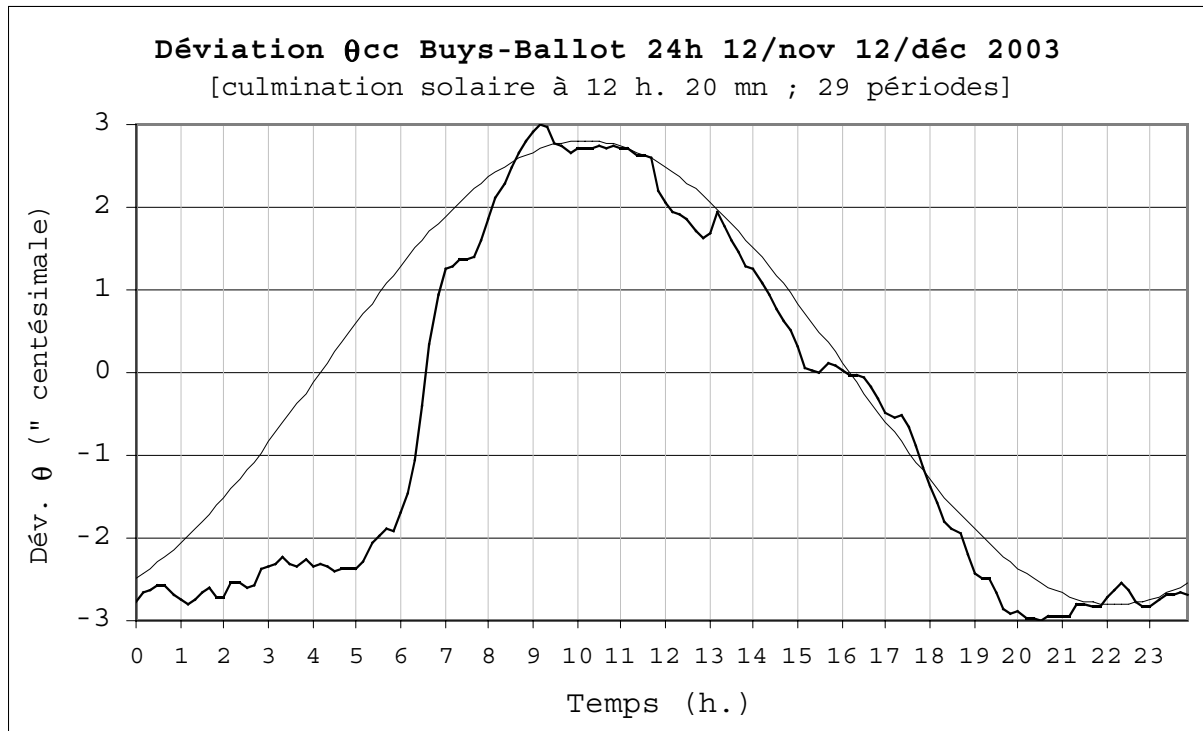
La composante de 24 h. avance de 4 à 5 h. sur la température.

La composante de 24,86 h. est en avance de 3 à 4 h. sur la température.

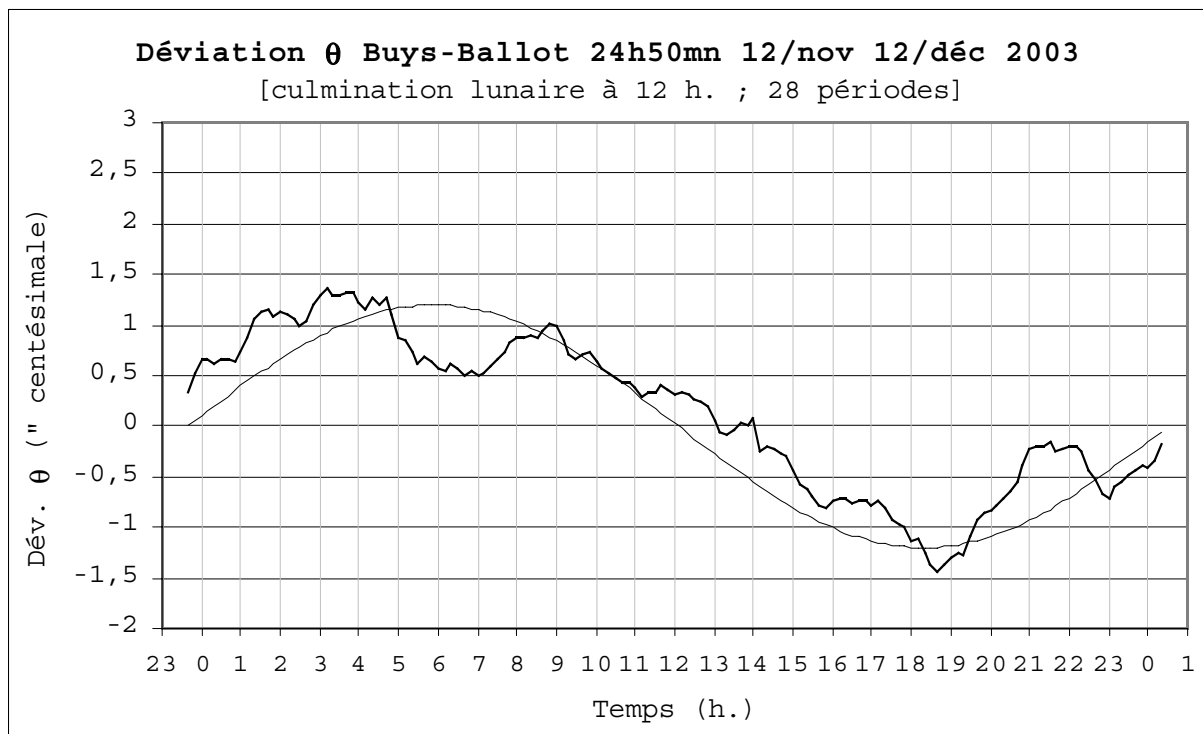




Afin de visualiser la situation en phase, appliquons la méthode de Buys-Ballot :



Le maximum de la composante de 24 h. de  $\theta_{cc}$  est vers 10 h.



Le maximum de la composante de 24,86 h. de  $\theta_{cc}$  avance de 6 h. sur la culmination lunaire.



## ANALYSE DE LA DEVIATION HORIZONTALE $\psi_{cc}$

Des graphiques ci-contre, on extrait les tables ci-dessous.

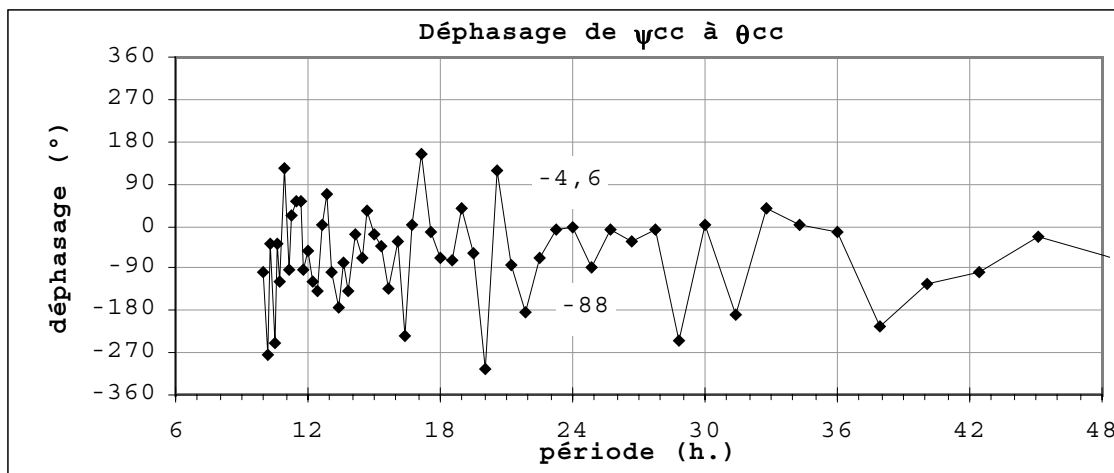
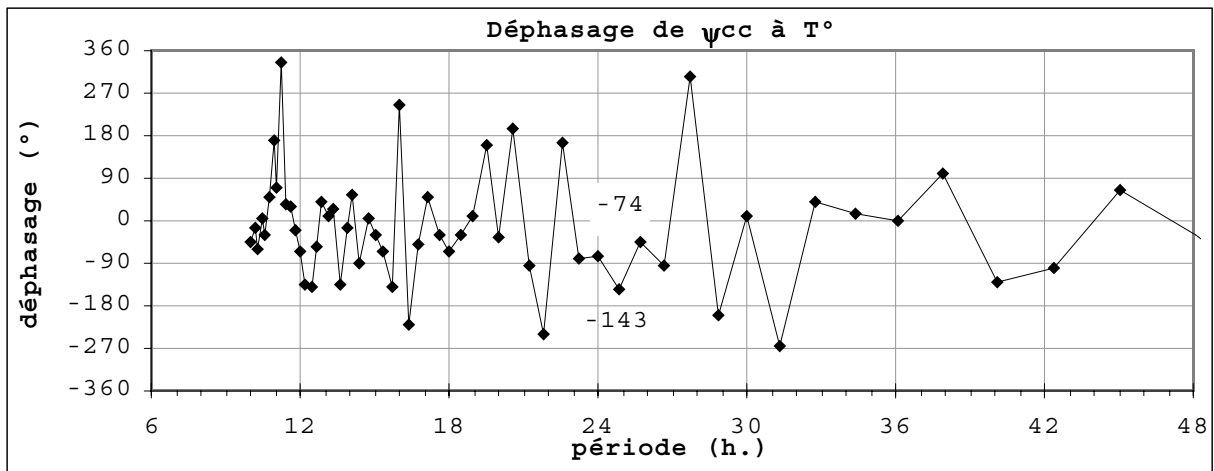
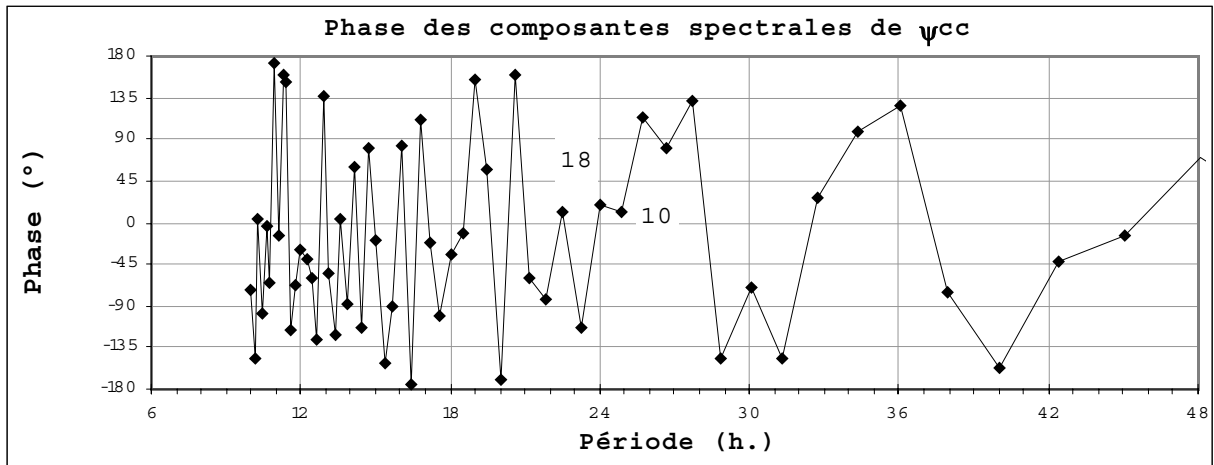
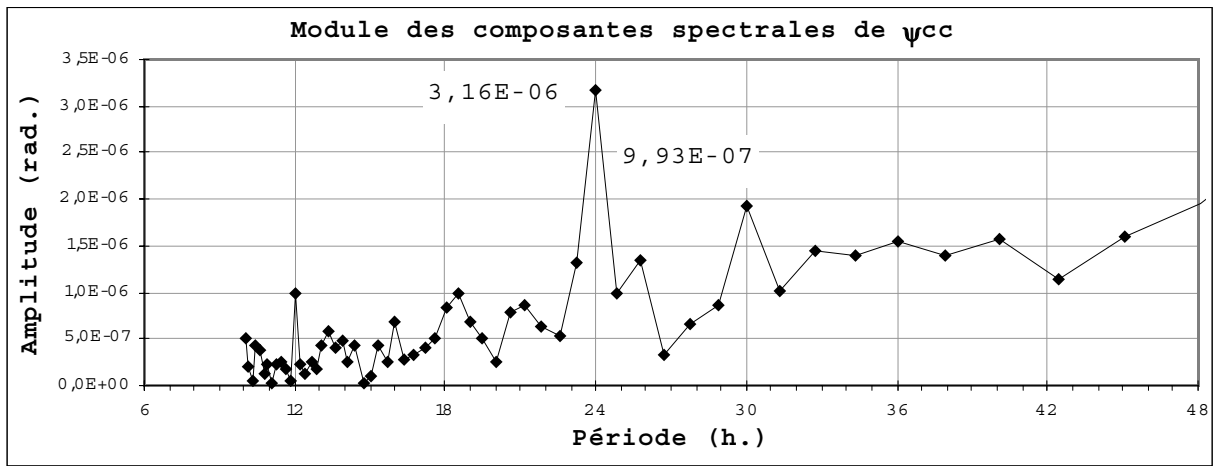
La première résume, pour  $\psi_{cc}$ , les caractéristiques des deux composantes de 24 h. et 24,86 h. :

<i>Période (h.)</i>	<i>Amplitude (<math>\mu</math>rad.)</i>	<i>Phase (<math>^{\circ}</math>)</i>	<i>Déphasage à <math>T_c</math></i>
24	3,16	18	$-74^{\circ}$ (- 4 h. 56 mn)
24,86	0,99	10	$-143^{\circ}$ (- 9 h. 52 mn)

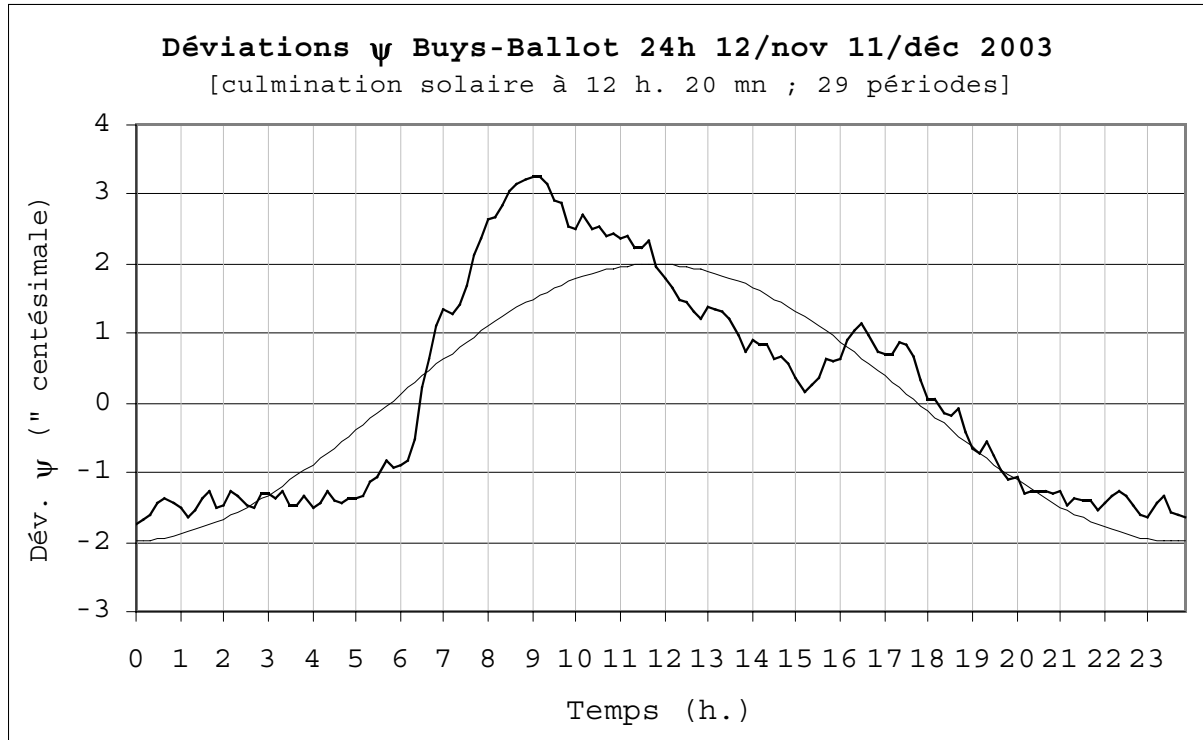
En particulier la relation de phase entre  $\psi_{cc}$  et  $\theta_{cc}$  est résumée ici :

<i>Période (h.)</i>	<i>Déphasage à <math>\theta_{cc}</math></i>
24	$-5^{\circ}$ (20 mn)
24,86	$-88^{\circ}$ (6 h. 5 mn)

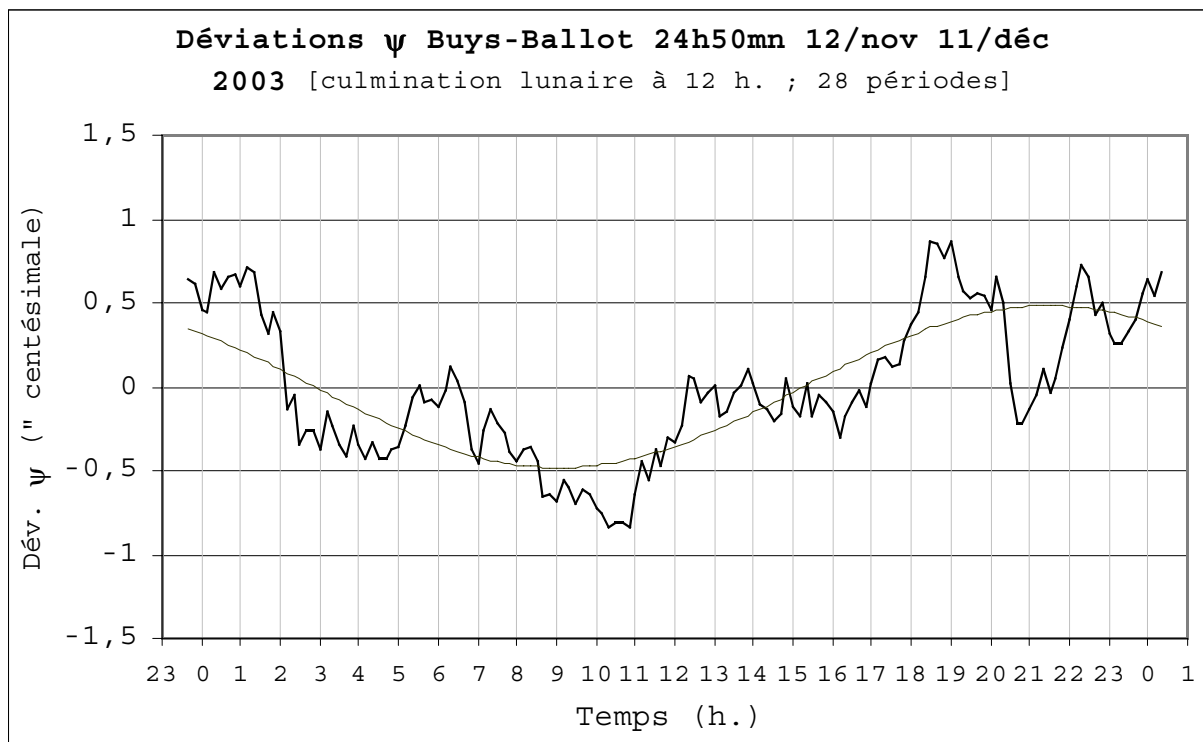
Où l'on voit qu'à 24 h.,  $\psi_{cc}$  et  $\theta_{cc}$  sont en phase ; à 24,86 h. ils sont en quadrature.



Comme avant, les graphiques obtenus par la méthode de Buys-Ballot situent les phases dans le temps :



Le maximum de la composante de 24 h. de  $\psi_{cc}$  est vers 12 h.

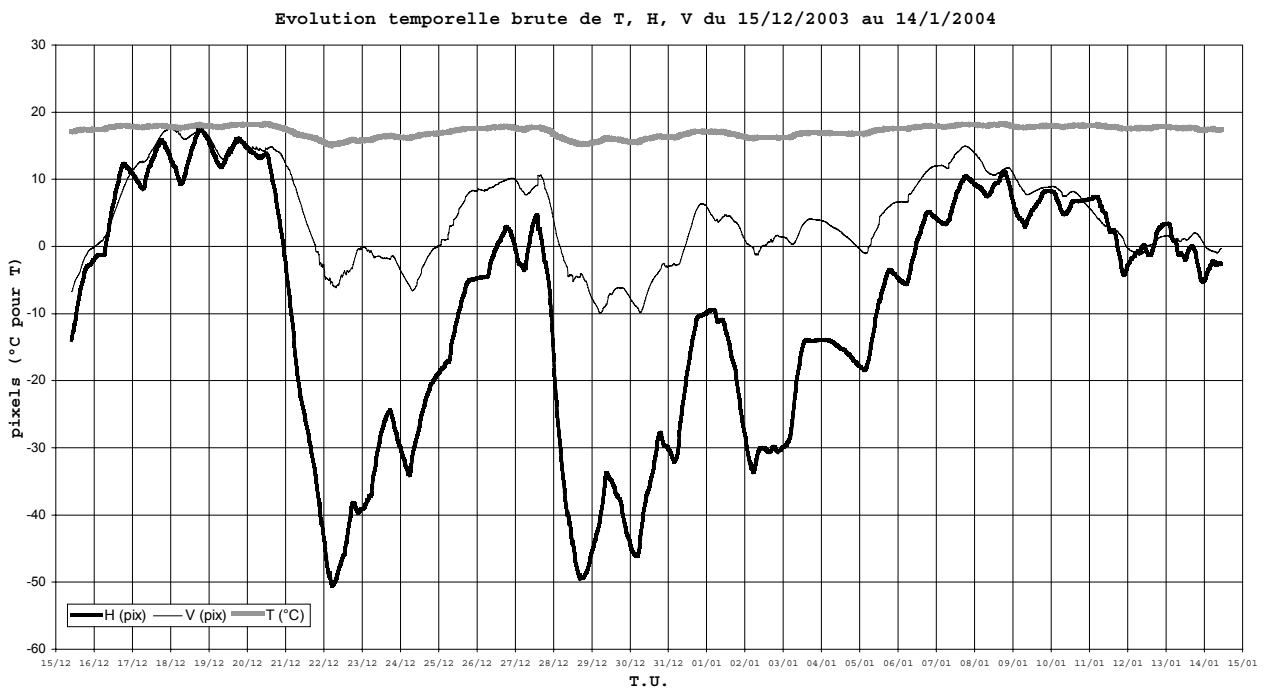


Le maximum de la composante de 24,86 h. de  $\psi_{cc}$  est 9 h. 30 mn après la culmination lunaire (ou 14 h. 30 avant).

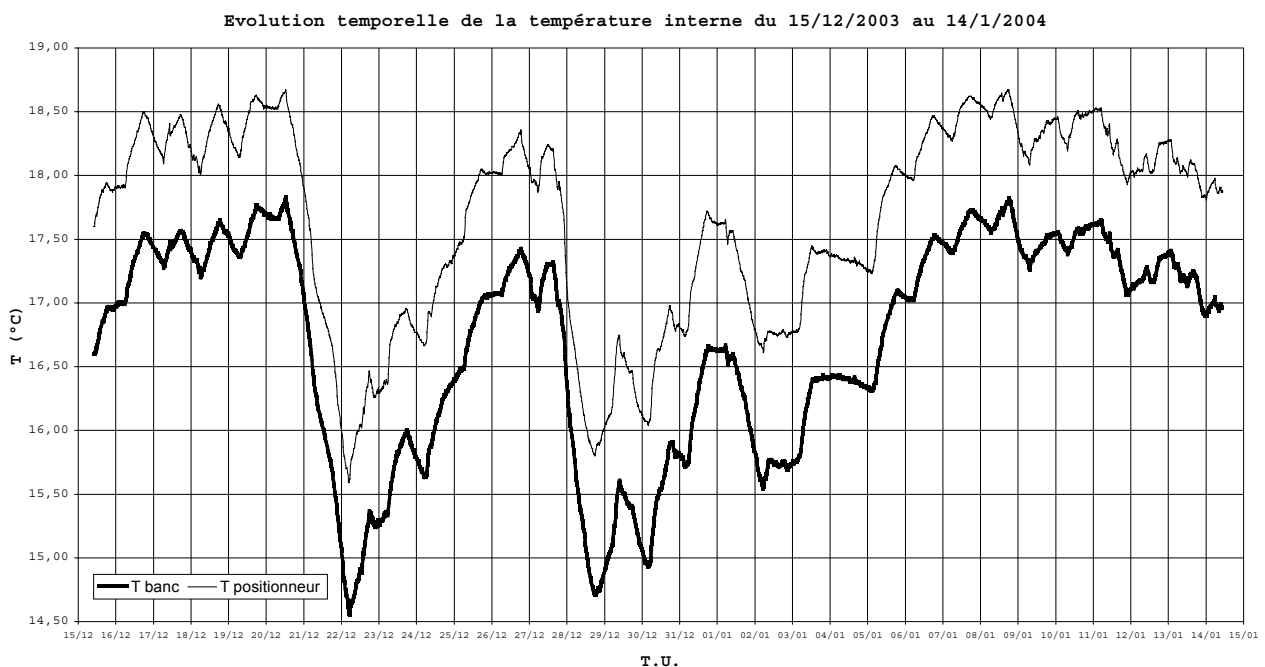
C) SERIE DU 15 DECEMBRE 2003 AU 14 JANVIER 2004

La troisième série de 4326 mesures a été effectuée du 15/12/2003 9 h. 50 mn au 14/1/2004 10 h. 40 mn.

Les courbes brutes sont présentées sur le graphique suivant :



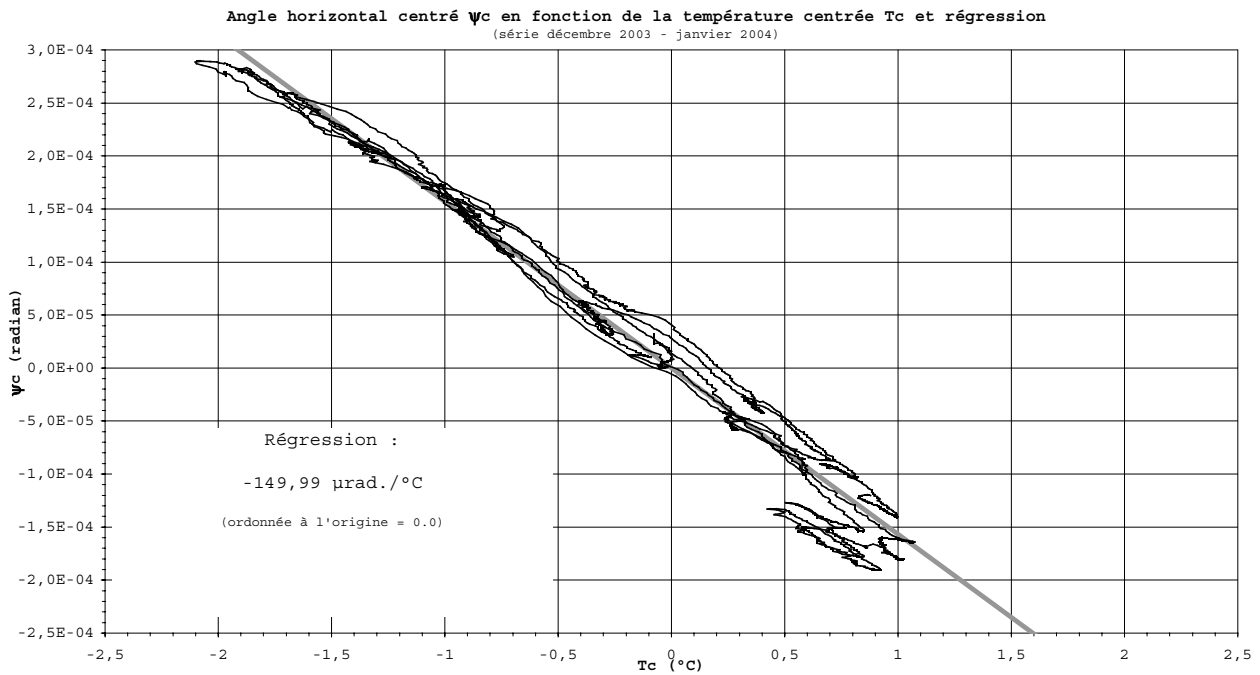
Présentée sur une échelle dilatée avec un léger décalage de zéro (sans importance, les valeurs centrées sont seules utilisées), les courbes de température sont :



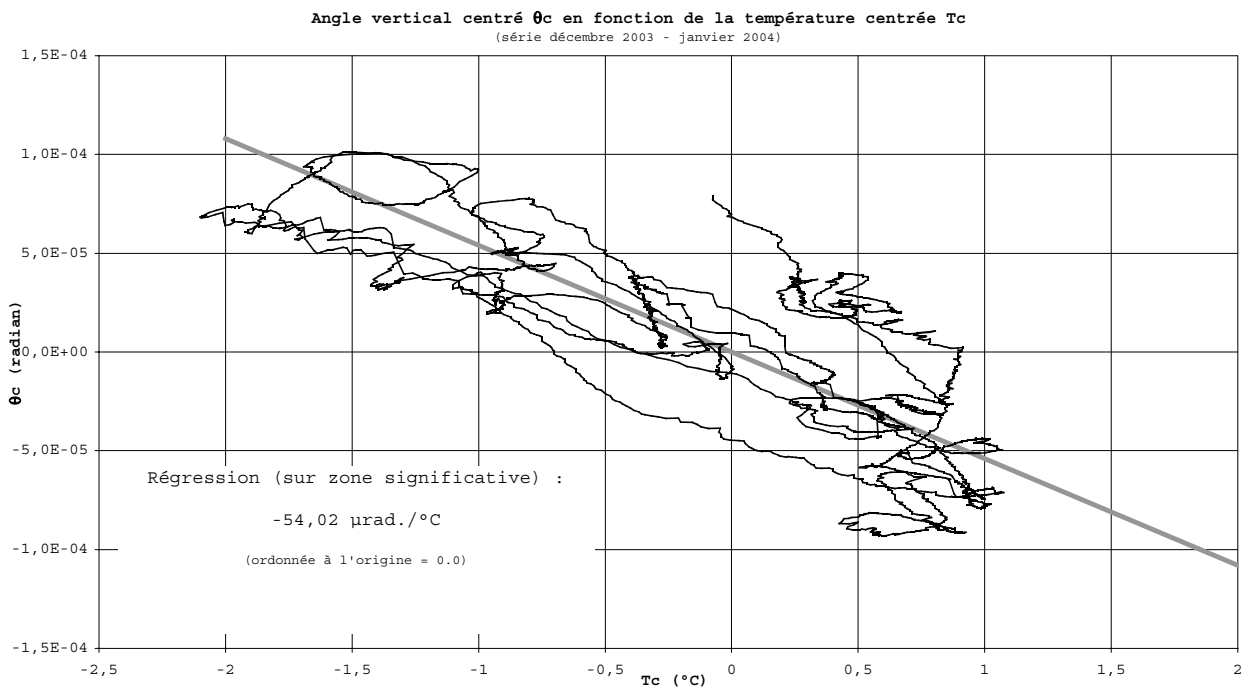
Leur excellente corrélation permet d'en faire la moyenne  $T_c$ .



Afin de mettre en évidence les dépendances en température, les graphiques  $\psi_c(T_c)$  et  $\theta_c(T_c)$  ont été tracés :



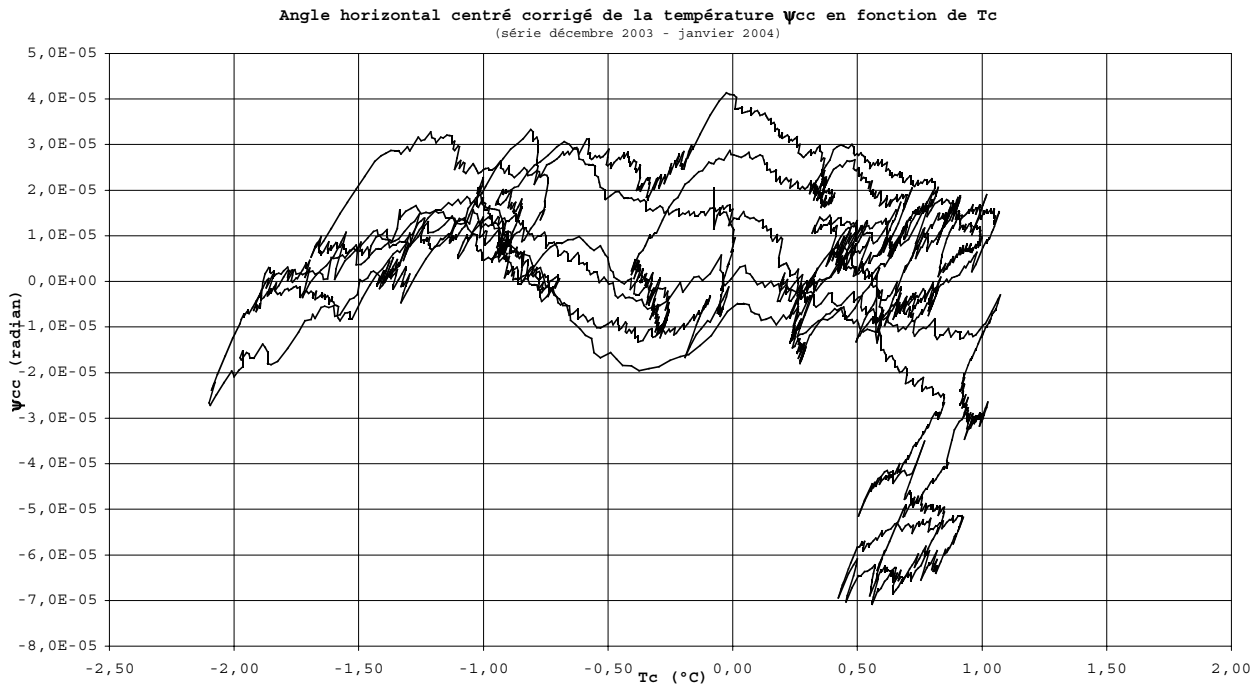
Sur ce graphique, une corrélation évidente avec la température incite à faire une régression linéaire qui fournit un coefficient de température de 149,99  $\mu\text{radian par degré centigrade}$  pour l'angle  $\psi_c$ . Valeur très proche de celles des séries précédentes.



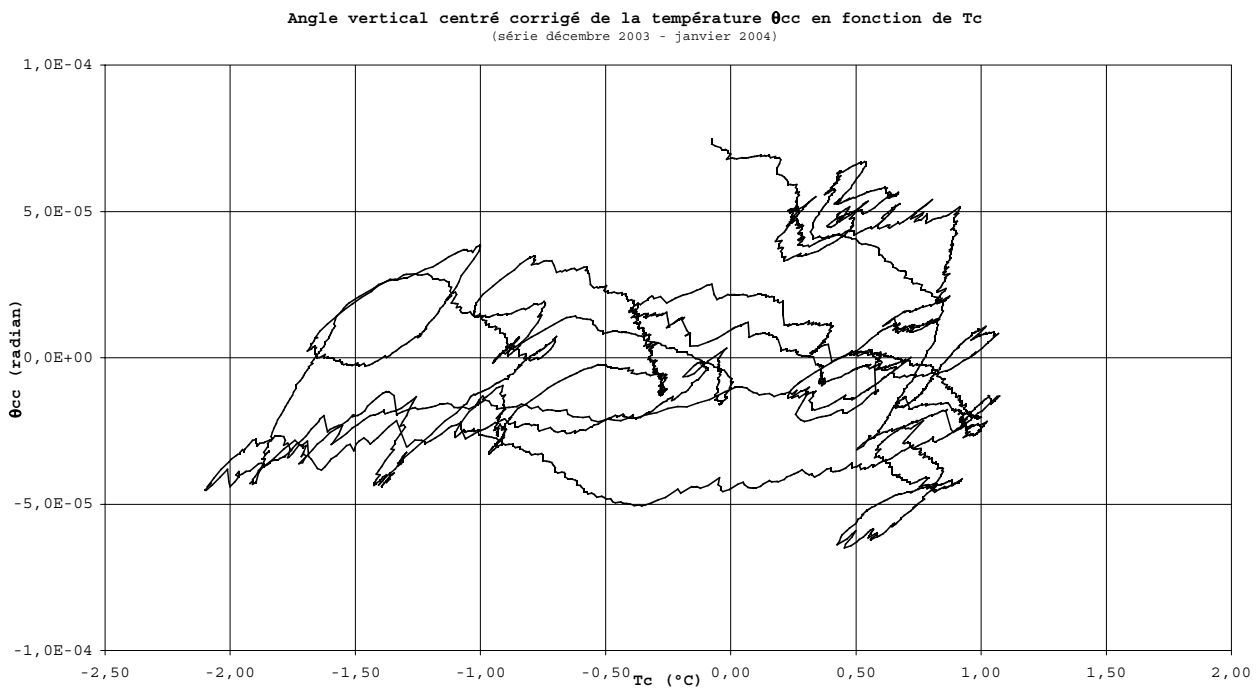
Sur la variation de température ample et presque linéaire du 20/12 et 22/12, une régression permet d'estimer le coefficient de température pour  $\theta_c$  à 54,02  $\mu\text{rad./}^\circ\text{C}$ . Valeur là aussi proche de la série précédente.

Par soustraction des valeurs de la droite de régression, les signaux sont corrigés.

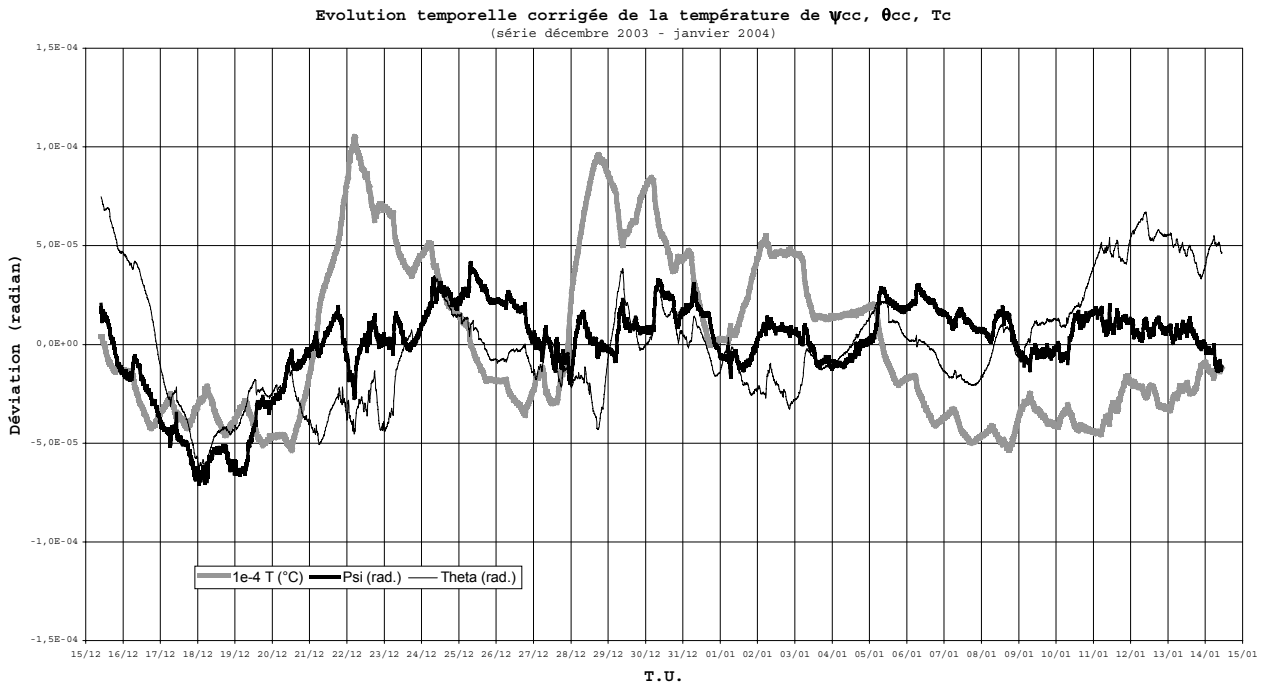
Les signaux corrigés dorénavant utilisés sont ainsi  $\Psi_{cc}$  :



et  $\theta_{cc}$  :

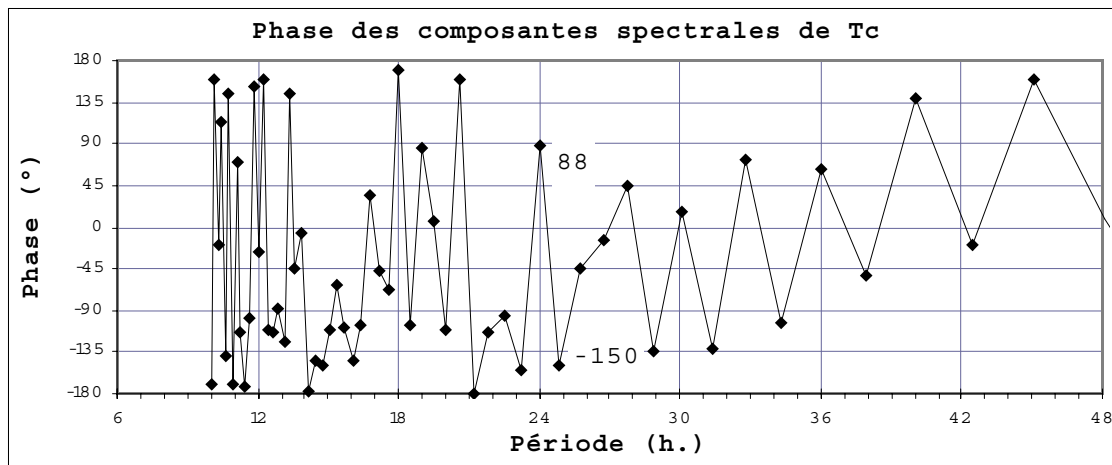
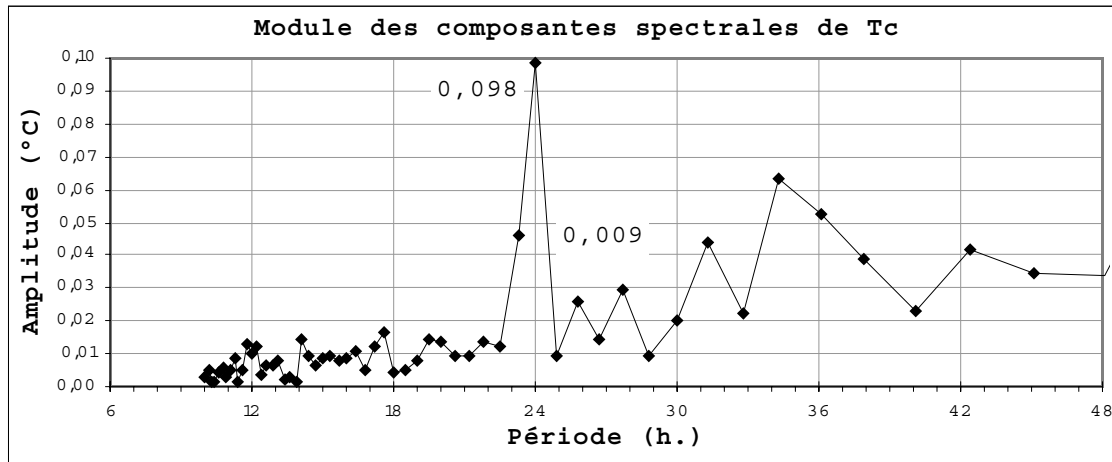


L'évolution temporelle corrigée est reproduite sur le graphique suivant :



## ANALYSE DE LA VARIATION DE TEMPERATURE T<sub>c</sub>

Pour T<sub>c</sub> on obtient les graphiques suivants :

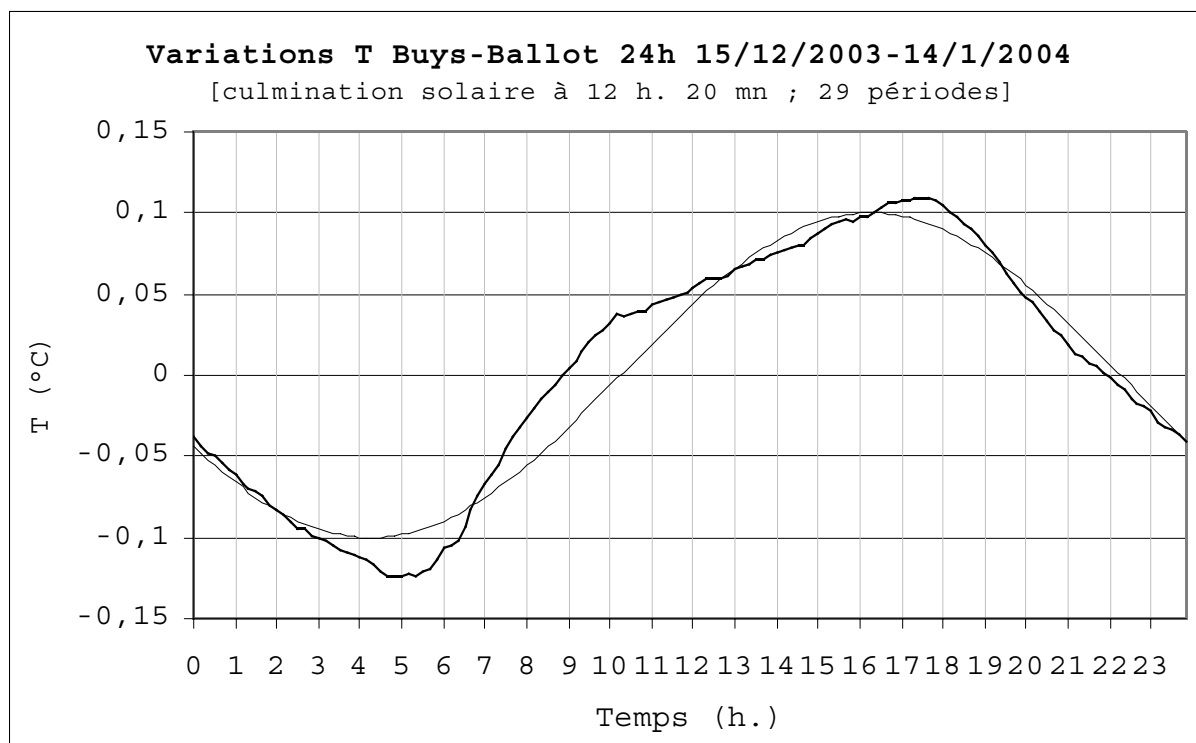


<i>Période (h.)</i>	<i>Amplitude (°C)</i>	<i>Phase (origine 15/12/2003 9 h. 50 mn)</i>
24	0,098	88° (+ 5 h. 52 mn)
24,86	0,009	-150° (- 10 h. 22 mn)

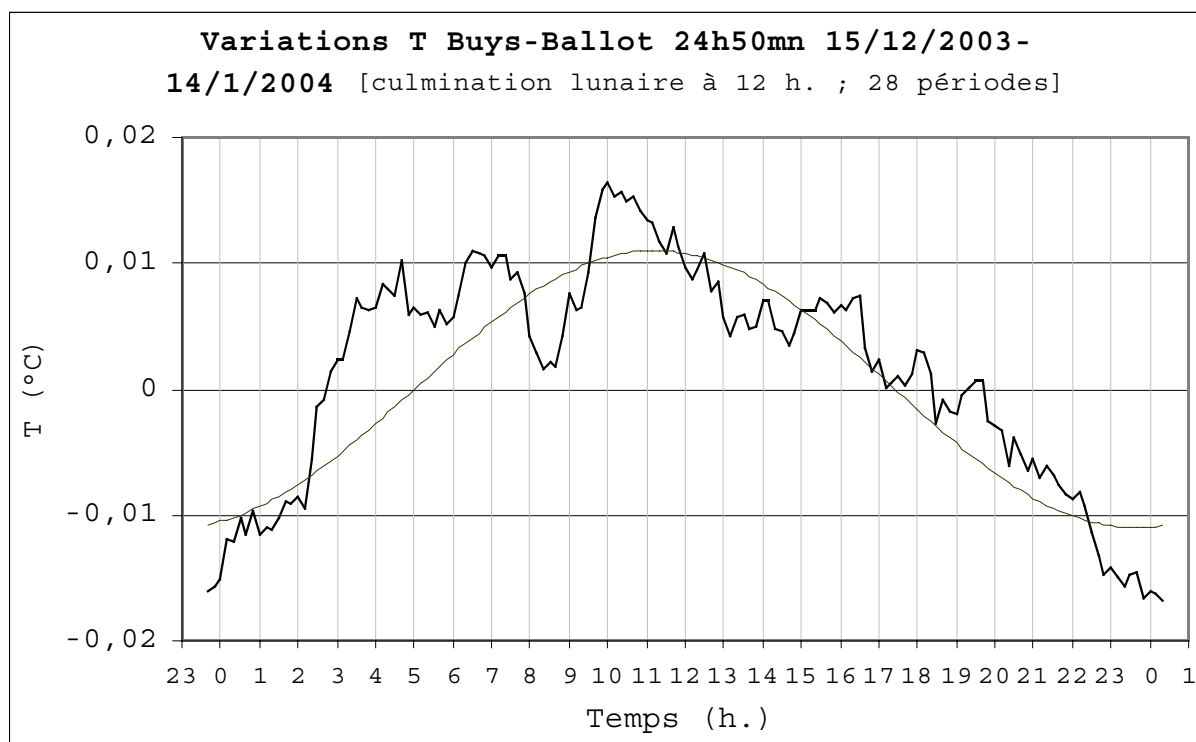
A 24 h. de période, la composante est très près de la quadrature (maximum vers 16 h. en première période compte tenu de l'origine de la série à 9 h. 50 mn). A 24,86 h., la composante est plus près de l'anti-phase avec un maximum vers 20 h. sur la première période.

Les amplitudes sont plus dissemblables que dans les séries précédentes, avec, à 24 h. et 24,86 h., 0,098°C et 0,009°C respectivement, soit un rapport de 10,8. l'amplitude de 24,86 h. n'est que du tiers de celle de novembre-décembre.

Afin de visualiser la situation en phase, appliquons la méthode de Buys-Ballot :



Le maximum de la composante de 24 h. de  $T_c$  est vers 16 h.



Le maximum de la composante de 24,86 h. de  $T_c$  avance de 1 h. sur la culmination lunaire.

## ANALYSE DE LA DEVIATION VERTICALE $\theta_{cc}$

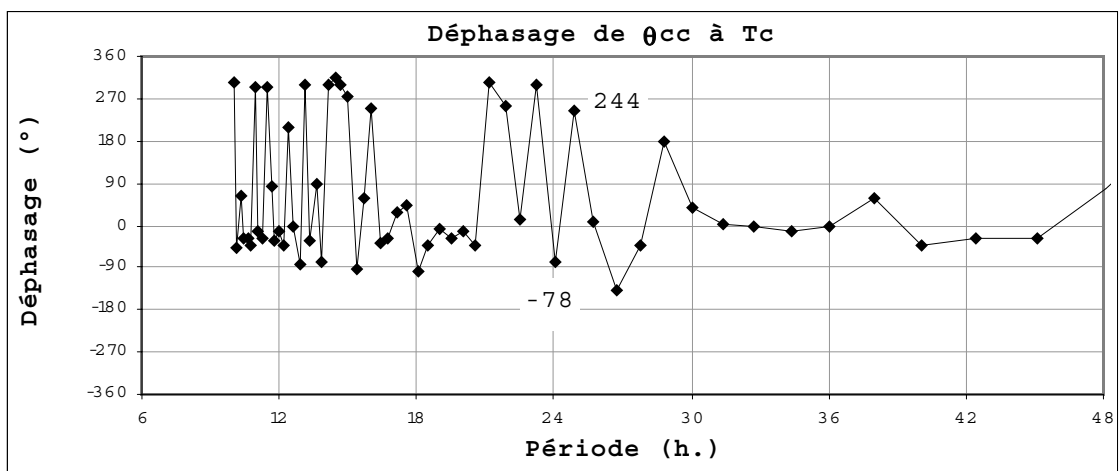
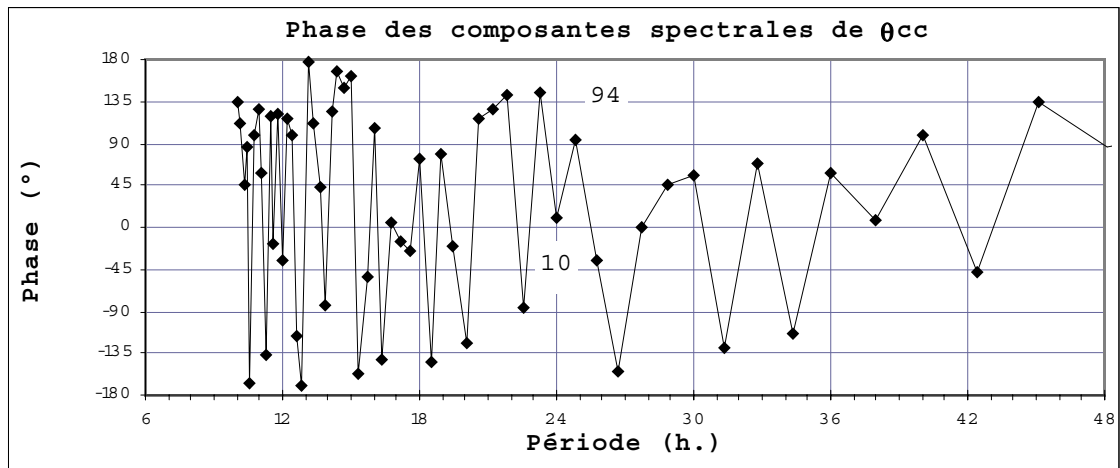
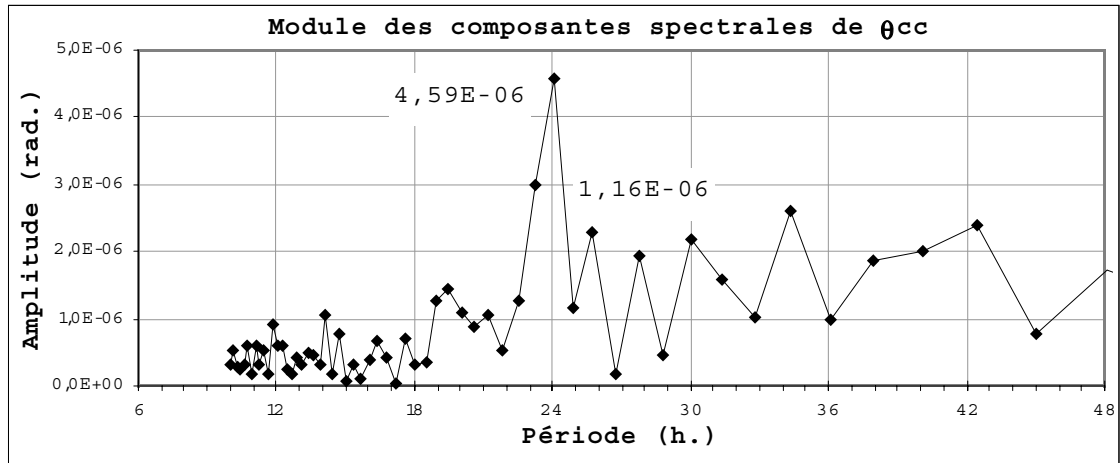
Les graphiques ci-contre permettent de donner la table suivante résumant pour  $\theta_{cc}$  les caractéristiques des deux composantes de 24 h. et 24,86 h. :

<i>Période (h.)</i>	<i>Amplitude (<math>\mu</math>rad.)</i>	<i>Phase (<math>^{\circ}</math>)</i>	<i>Déphasage à <math>T_c</math></i>
24	4,59	10	-78° (- 5 h. 12 mn)
24,86	1,16	94	244° (- 8 h.)

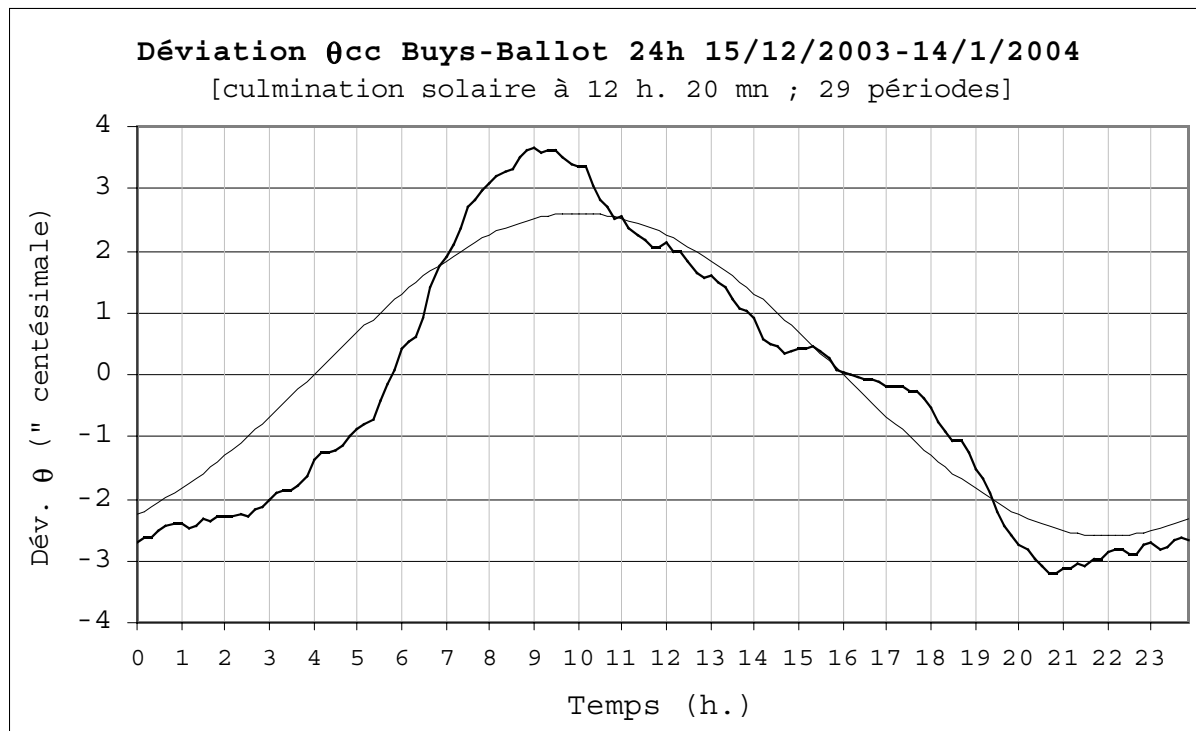
Les amplitudes des composantes de 24 h. et 24,86 h. sont assez proches de celles du mois précédent (4,59  $\mu$ rad. et 1,16  $\mu$ rad.) avec un rapport de 3,96.

La composante de 24 h. avance de 5 h. sur la température.

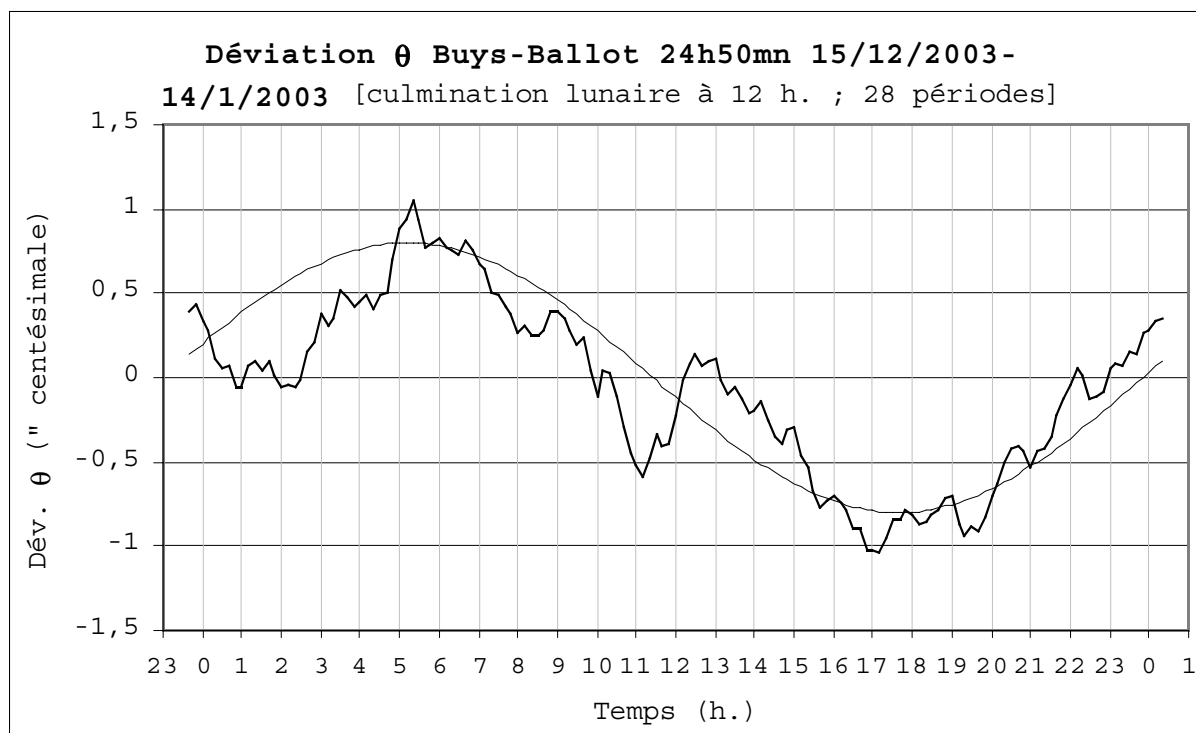
La composante de 24,86 h. est en avance de 8 h. sur la température.



Afin de visualiser la situation en phase, appliquons la méthode de Buys-Ballot :



Le maximum de la composante de 24 h. de  $\theta_{cc}$  est vers 10 h.



Le maximum de la composante de 24,86 h. de  $\theta_{cc}$  avance de 7 h. sur la culmination lunaire.





## ANALYSE DE LA DEVIATION HORIZONTALE $\psi_{cc}$

Des graphiques ci-contre, on extrait les tables ci-dessous.

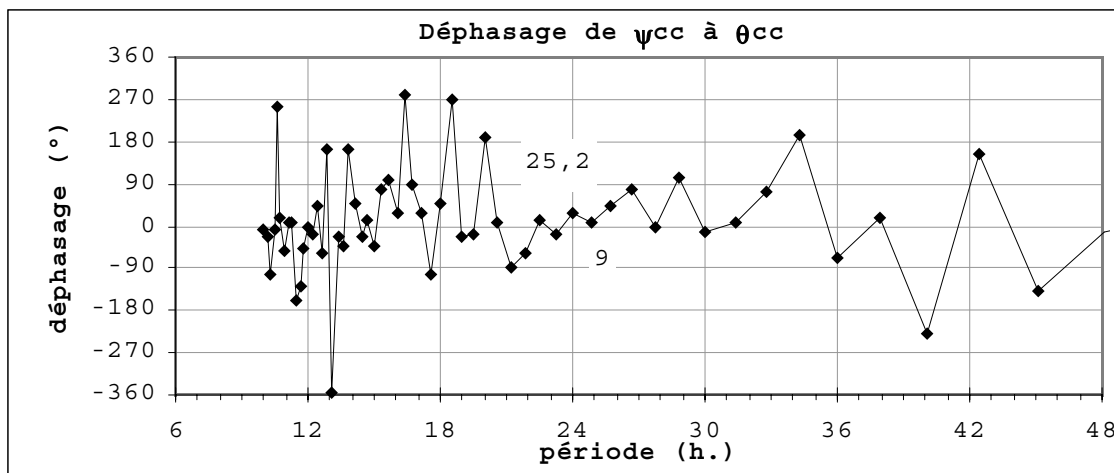
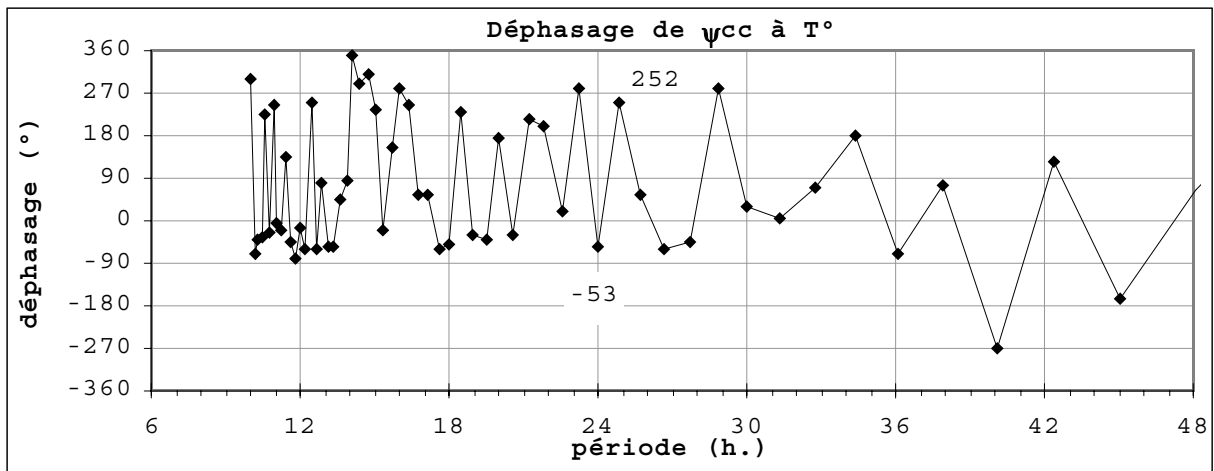
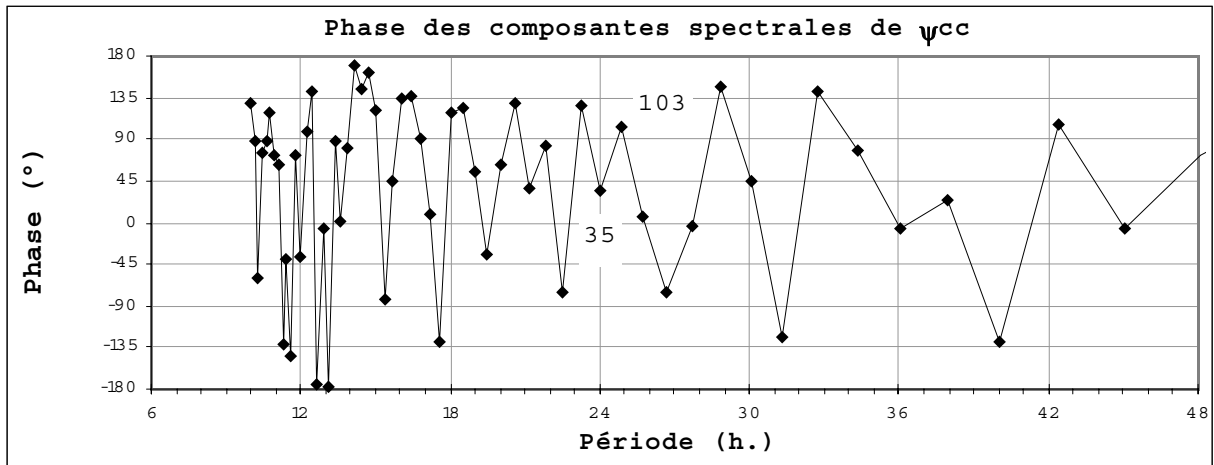
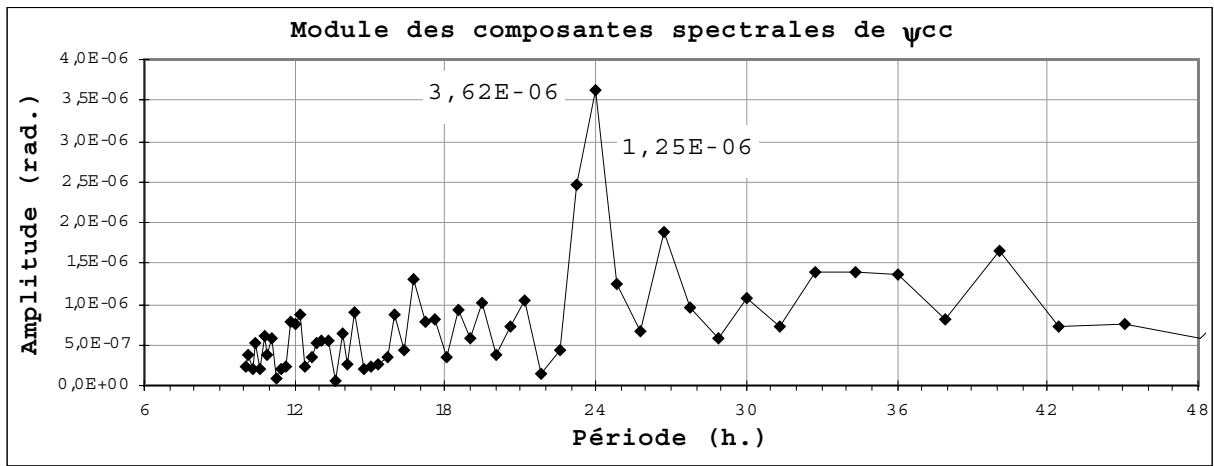
La première résume, pour  $\psi_{cc}$ , les caractéristiques des deux composantes de 24 h. et 24,86 h. :

<i>Période (h.)</i>	<i>Amplitude (<math>\mu</math>rad.)</i>	<i>Phase (<math>^{\circ}</math>)</i>	<i>Déphasage à <math>T_c</math></i>
24	3,62	35	-53° (- 3 h. 32 mn)
24,86	1,25	103	252° (- 7 h. 27 mn)

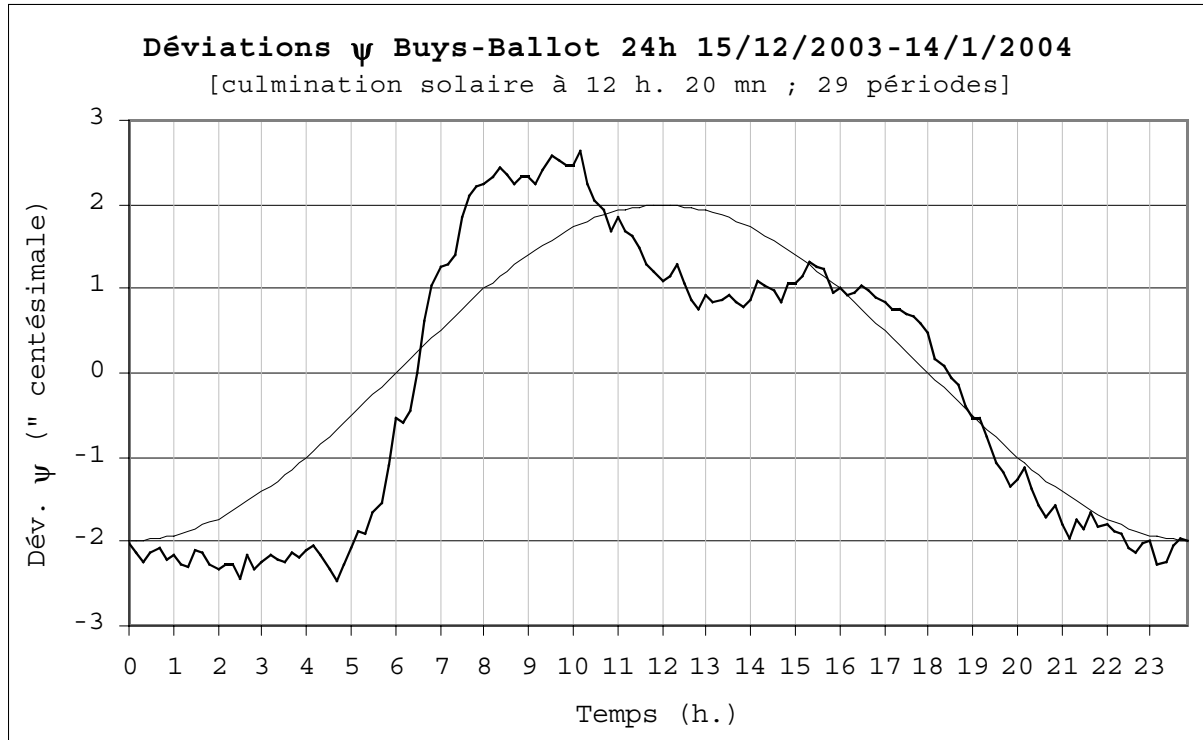
En particulier la relation de phase entre  $\psi_{cc}$  et  $\theta_{cc}$  est résumée ici :

<i>Période (h.)</i>	<i>Déphasage à <math>\theta_{cc}</math></i>
24	25° (1 h. 40 mn)
24,86	9° (37 mn)

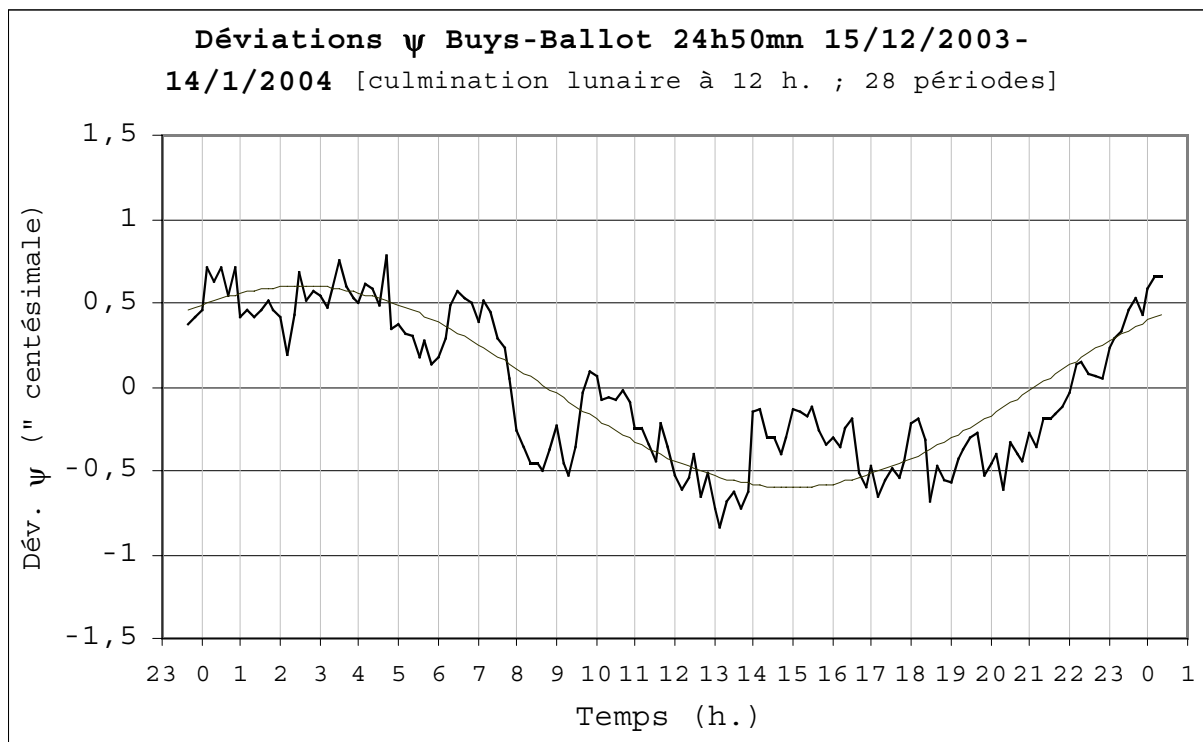
Où l'on voit qu'à 24 h.,  $\psi_{cc}$  et  $\theta_{cc}$  sont presque en phase ; mais cette fois à 24,86 h. ils le sont aussi.



Comme avant, les graphiques obtenus par la méthode de Buys-Ballot situent les phases dans le temps :



Le maximum de la composante de 24 h. de  $\psi_{cc}$  est vers 12 h.



Le maximum de la composante de 24,86 h. de  $\psi_{cc}$  est 9 h. 30 mn avant la culmination lunaire.

## V) COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

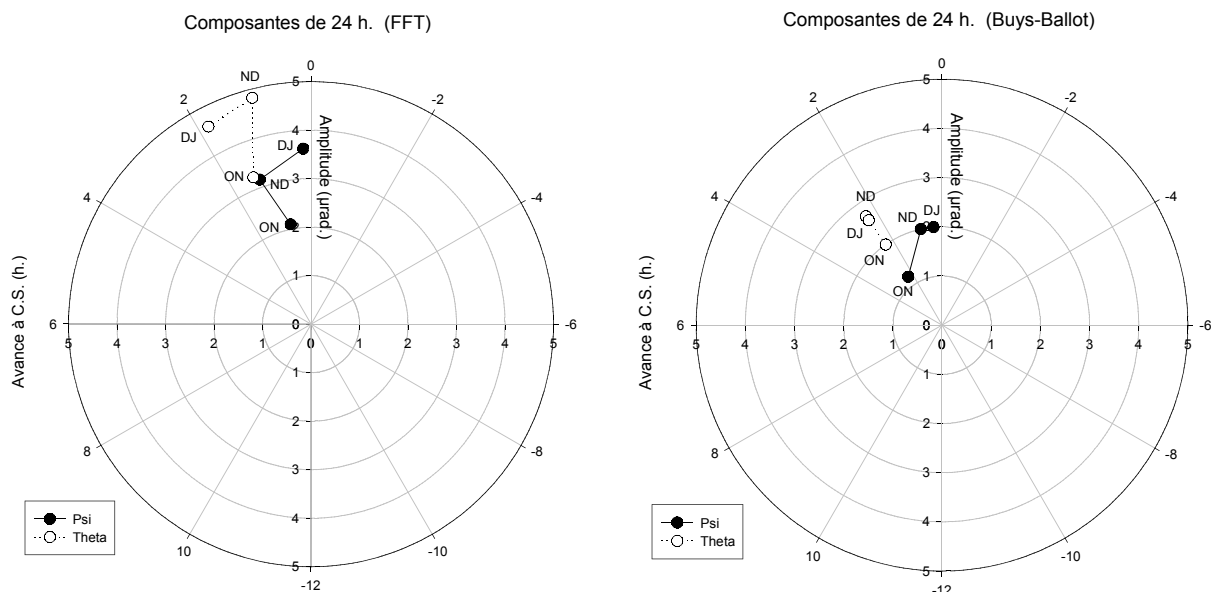
### A) RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

Composante de 24 h.

Déviation $\theta$	<i>FFT</i>		<i>Buys-Ballot</i>	
	Amplitude ( $\mu\text{rad.}$ )	Avance sur C.S.	Amplitude ( $\mu\text{rad.}$ )	Avance sur C.S.
Oct-Nov	3,25	1 h. 26 mn	2,0	2 h. 20 mn
Nov-Déc	4,82	58 mn	2,7	2 h. 20 mn
Déc-Jan	4,59	1 h. 50 mn	2,6	2 h. 20 mn

Déviation $\psi$	<i>FFT</i>		<i>Buys-Ballot</i>	
	Amplitude ( $\mu\text{rad.}$ )	Avance sur C.S.	Amplitude ( $\mu\text{rad.}$ )	Avance sur C.S.
Oct-Nov	2,10	46 mn	1,2	2 h.
Nov-Déc	3,16	1 h. 18 mn	2,0	30 mn
Déc-Jan	3,62	10 mn	2,0	20 mn

Suit une représentation par diagrammes polaires avec zéro à la C.S.  
Les époques sont abrégées : O.N pour octobre-novembre etc...

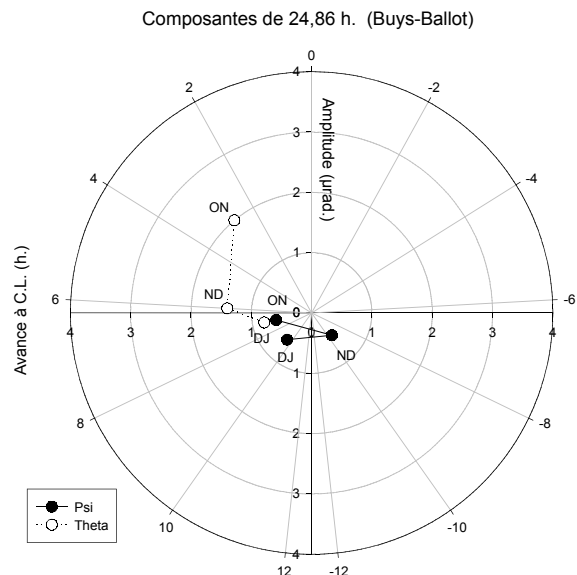
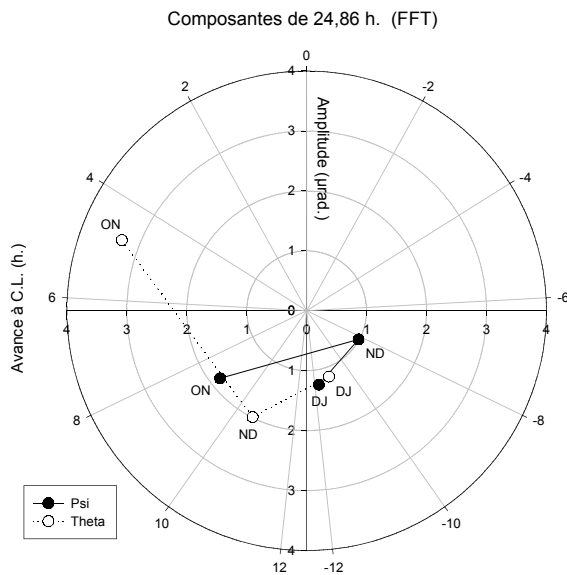


Le confinement des points dans le secteur des 2 h. avant la culmination solaire est très remarquable. La répétition de ce comportement 3 mois successifs a peu de chances d'être dû au hasard.

Composante de 24,86 h.

Déviation $\theta$	<i>FFT</i>		<i>Buys-Ballot</i>	
	Amplitude ( $\mu\text{rad.}$ )	Avance sur C.L.	Amplitude ( $\mu\text{rad.}$ )	Avance sur C.L.
Oct-Nov <sup>1</sup>	3,30	4 h. 47 mn	2,0	2 h. 45 mn
Nov-Déc <sup>2</sup>	1,99	8 h.	1,4	6 h.
Déc-Jan <sup>3</sup>	1,16	13 h. 43 mn	0,8	7 h.

Déviation $\psi$	<i>FFT</i>		<i>Buys-Ballot</i>	
	Amplitude ( $\mu\text{rad.}$ )	Avance sur C.L.	Amplitude ( $\mu\text{rad.}$ )	Avance sur C.L.
Oct-Nov	1,83	8 h. 51 mn	0,6	7 h.
Nov-Déc	0,99	16 h. 39 mn	0,5	14 h. 30 mn
Déc-Jan	1,25	13 h. 5 mn	0,6	9 h. 30 mn



On ne peut se départir d'une impression de progression dans la suite des points, mais celle-ci est peut être une simple vue de l'esprit. Seul un suivi au moins annuel pourrait indiquer que les paramètres des composantes évoluent de façon ordonnée au cours du temps.

1 C.L. le 11/10 à 0 h. 37 mn soit 14 h. 47 mn (214°) après l'origine (10/10 9 h. 50 mn).  
 2 C.L. le 13/11 à 3 h. 10 mn soit 17 h. 20 mn (251°) après l'origine (12/11 9 h. 50 mn).  
 3 C.L. Le 16/12 à 6 h. 2 mn soit 20 h. 12 mn (293°) après l'origine (15/12 9h. 50 mn)

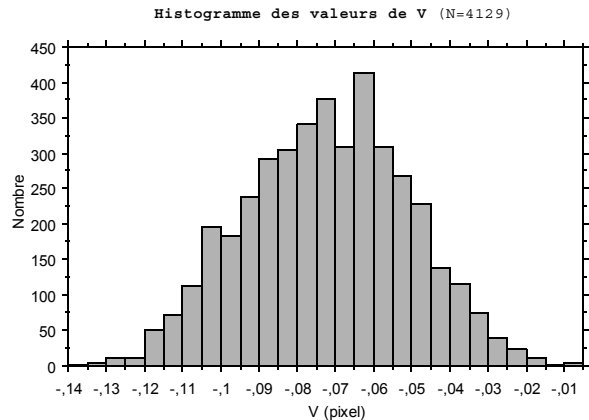
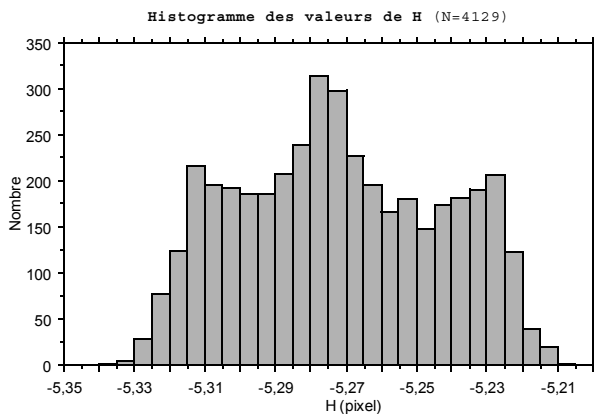
## B) ESTIMATION D'UNE LIMITE HAUTE DU BRUIT

L'immunité du montage aux vibrations du sol est très grande à cause des moyennes temporelles et spatiales à très grand effectif et période longue devant celles des perturbations. De fait nombre d'incidents constatés lors d'essais en 2002 (portes claquées, travaux, passages) n'ont eu aucun impact visible sur les mesures. Le seul effet de ces perturbations est d'élargir un peu la tache lumineuse, ce qui n'a aucune importance puisque seule la position barycentrique est mesurée.

De même, le bruit du capteur ccd est éliminé dans la prise de moyenne sur les quelques 4000 images.

Afin de vérifier quantitativement ceci, on peut faire l'acquisition de 4129 trames au même rythme de 7,5 trames/sec, mais au lieu de ne déterminer que l'unique barycentre de la somme des images, on calcule à la volée, et l'on conserve pour analyse, la suite des 4129 valeurs H et V barycentriques. Chaque valeur intéresse une tranche de temps de 130 msec.

Ayant fait une telle acquisition, la distribution des valeurs de barycentre est répartie comme le montrent les deux histogrammes suivants :



Les indicateurs statistiques correspondants sont donnés ci-dessous, avec des valeurs en pixels pour les moyennes, écarts-types, min-max :

**Indicateurs des distributions  
de coordonnées barycentriques  
successives**

	H	V
Moy.	-5,272	-,073
Dév. Std	,029	,022
Erreur Std	4,478E-4	3,4E-4
Nombre	4129	4129
Minimum	-5,402	-,275
Maximum	-5,209	-,006

On constate ainsi que les étendues sont de 0,193 pixel (1,15  $\mu\text{m}$ ) pour H et 0,269 pixel (1,61  $\mu\text{m}$ ) pour V. Evidemment, les écart-types des distributions sont eux bien plus faibles (environ 0,025 pixel ou 150 nm). Et surtout, l'écart-type sur la valeur barycentrique moyenne est infime, de l'ordre de  $4e^{-4}$  pixel (2,4 nm), cette valeur est absolument négligeable comme on pouvait s'y attendre. Il s'ensuit que les valeurs de barycentre sont en fait extrêmement bien définies, largement assez pour ne pas jouer sur les mesures qui sont tronquées au 1/100 de pixel (60 nm).

Une remarque peut être faite sur l'histogramme des valeurs H : on sait que cette direction est plus sensible à la température, mais aussi aux vibrations si l'on considère le montage décrit au début. Or l'histogramme paraît trimodal, avec deux sommets secondaires à 4/100 de pixel (0,24  $\mu\text{m}$ ). Il est possible qu'il s'agisse là de l'effet de vibrations mécaniques, dont la moyenne est évidemment nulle sur l'ensemble des 4129 mesures.

La grande définition des positions barycentriques conduit à affirmer que la question de la signification statistique du signal ne se pose pas, c'est à dire que le signal recueilli est tout dû à l'effet de température et à une influence supplémentaire. Une fois le premier effet retiré seul le second reste avec des amplitudes beaucoup trop grandes pour provenir de fluctuations du barycentre moyen.

Il ne semble pas nécessaire d'appliquer le test utilisé par M.Allais<sup>1</sup>. D'ailleurs le calcul pour chaque signal de son autocorrélation montre une très forte corrélation à long terme qui rend impossible l'extraction du corrélogramme décroissant dont le test généralisé cité fait usage.

---

<sup>1</sup> M.Allais, Généralisation du test de Schuster au cas de séries temporelles autocorrélées dans l'hypothèse d'un processus de perturbation aléatoire d'un système stable, Bull. Int. de Stat., 1962, tome 39, pp143-194.



### C) CONCLUSION

A l'aide d'un dispositif dont l'insensibilité aux défauts du capteur et aux vibrations mécaniques est certaine, j'ai donc constaté sur trois séries mensuelles entre le 10 octobre 2003 et le 14 janvier 2004 que les signaux de déviation du foyer lumineux possèdent bien des périodicités de 24 h. et 24 h. 50 mn, et que celles-ci n'ont pas un effet thermique pour origine.

Avec une incertitude que l'on peut estimer à quelques 15%, ces déplacements ont été trouvés (en radians et secondes centésimales) :

<i>24 h.</i>				<i>24 h. 50 mn</i>			
$\theta$		$\psi$		$\theta$		$\psi$	
<b>3,32 <math>\mu</math>rad. (2,11")</b>		<b>2,35 <math>\mu</math>rad. (1,49")</b>		<b>1,78 <math>\mu</math>rad. (1,13")</b>		<b>0,97 <math>\mu</math>rad. (0,61")</b>	
FFT	BB	FFT	BB	FFT	BB	FFT	BB
<b>4,22 <math>\mu</math>rad.</b>	<b>2,43 <math>\mu</math>rad.</b>	<b>2,96 <math>\mu</math>rad.</b>	<b>1,73 <math>\mu</math>rad.</b>	<b>2,15 <math>\mu</math>rad.</b>	<b>1,40 <math>\mu</math>rad.</b>	<b>1,36 <math>\mu</math>rad.</b>	<b>0,57 <math>\mu</math>rad.</b>
2,69"	1,55"	1,88"	1,10"	1,37"	0,89"	0,87"	0,36"

(les valeurs de la troisième ligne sont une moyenne FFT-Buys-Ballot).

Attendu

- que ces composantes sont hors de phase avec la température du montage et ne résultent donc pas d'un résidu d'effet thermique,

- que d'un mois à l'autre la composante de 24 h. possède toujours son maximum moins de 2 h. avant midi du lieu,

- que leurs amplitudes sont, compte tenu de la différence de dispositif expérimental, du même ordre de grandeur que celles trouvées par M.Allais,

On peut affirmer avec un risque réduit d'erreur qu'il y a bien là des déplacements qui ne sont pas dûs aux causes évidentes de bruit ou de température.

Ce phénomène mérite donc plus ample attention dans la mesure où, à terme et en cas de confirmation du lien astronomique, une spectroscopie nouvelle pourrait en émerger.

Avant cela cependant, des dispositifs plus raffinés doivent être testés, les corrélations dans l'espace recherchées et l'effet du milieu de propagation (effet d'indice) examiné.

Vincent MORIN 21 Janvier 2004

## VI) ANNEXES

PROGRAMME D'ACQUISITION (DevLum)

```

--|-----
Package Acq1 Is
  Pragma Linker_Options("./acq.o");

  Procedure BoucleAcquisition;
  Procedure Close_Camera;      Pragma Import(C, Close_Camera, "close_camera");

End Acq1;
--|-----

With Acq1;
Use Acq1;
--|-----
Procedure DevLum Is
Begin
  BoucleAcquisition;
  Close_Camera;
End;
--|-----

with Text_Io, Interfaces, Ada.Calendar;
use Text_Io, Interfaces, Ada.calendar;
--|-----
Package Body Acq1 Is

  TempsAcquisition : Duration:=9 * 60.0 + 20.0;
  Intervalle       : Constant Duration:= 10 * 60.0;
  JoursExperience  : Constant Natural:= 365;

  Data             : File_Type;

  Procedure Open_Camera;      Pragma Import(C, Open_Camera, "open_camera");
  Procedure Read_Camera;     Pragma Import(C, Read_Camera, "read_camera");

  Ncol             : Constant Positive := 352;
  Nlin             : Constant Positive := 288;

  Type TripletRVB  Is Record
    B,V,R: Unsigned_8;
  End Record;
  Pragma Pack(TripletRVB); For TripletRVB'size Use 24;
  Type ImageRVB   Is Array(1..NLin,1..NCol) of TripletRVB;
  Pragma Pack(ImageRVB);
  Type aImageRVB  Is Access ImageRVB;

  aImageCamera    : aImageRVB;

  Pragma Import(C, aImageCamera, "Image");

  Type ImageCumul Is Array(1..NLin,1..NCol) Of natural;
  CumulR          : ImageCumul;

  Type ImageReelle Is Array(1..NLin,1..NCol) Of long_float;
  ImMoyR          : ImageReelle;

  TotR, MaxR, MinR, MoyR, BarXR, BarYR, Inertier: Long_Float;

--|-----
Procedure TotMaxMoyBar(Ir: ImageReelle; Tot, Max, Min, Moy, BarX, BarY:Out Long_float) Is
  T, Mx, Bx, By : Long_Float := 0.0;
  Mi            : Long_Float := Long_Float'Last;
Begin
  For L In 1..NLin Loop
    Declare
      Y : Long_Float := Long_Float(L-NLin/2) - 0.5;
    Begin
      For C In 1..NCol Loop
        Declare
          Val : Long_Float := Ir(L,C);
          X   : Long_Float := Long_Float(C-NCol/2) - 0.5;
        Begin

```

```

        T:= T + Val;
        If (Val > Mx) Then Mx:= Val; End If;
        If (Val < Mi) Then Mi:= Val; End If;
        Bx:= Bx + Val * X; By:= By + Val * Y;
    End;
End Loop;
End;
End Loop;
Moy:= T / Long_Float(NLin*NCol);
Tot:= T; Max:= Mx; Min:= Mi; BarX:= Bx / T; BarY:= By / T;
End;
--|-----
Procedure Inertie (Ir :ImageReelle; Tot, BarX, BarY: Long_Float; Inertie:Out Long_Float)
Is
I : Long_Float:= 0.0;
Begin
For L In 1..NLin Loop
    Declare
        DY : Long_Float :=(Long_Float(L-NLin/2) - 0.5) - BarY;
        DY2 : Long_Float := DY*DY;
    Begin
        For C In 1..NCol Loop
            Declare
                Val : Long_Float := Ir(L,C);
                DX : Long_Float := (Long_float(C-NCol/2) - 0.5) - BarX;
                DX2 : Long_Float := DX*DX;
            Begin
                I:= I + Val * (DX2+DY2);
            End;
        End Loop;
    End;
End Loop;
Inertie:= I / Tot;
End;
--|-----
Procedure Acquiert Is
NbIm : Natural := 0;
Present : Time := Clock;
Arret : Time := Present + TempsAcquisition;
Sort : Time := Present + Intervalle;
Begin
CumulR:= ( 1..NLin=> (1..NCol=> 0) );

Loop
    Read_Camera;
    NbIm:= NbIm + 1;
    For L In 1..NLin Loop
        For C In 1..NCol Loop
            CumulR(L,C) := CumulR(L,C) + natural(aImageCamera(L,C).B);
        End Loop;
    End Loop;
    Exit When Clock > Arret;
End Loop;

Put_Line( "ok : " & Natural'Image(NbIm) );

Declare
    InvNbImFact : Constant Long_Float := 1.0 / (256.0 * Long_Float(NbIm));
Begin
    For L In 1..NLin Loop
        For C In 1..NCol Loop
            ImMoyR(L,C) := Long_Float(CumulR(L,C)) * InvNbImFact;
        End Loop;
    End Loop;
End;

TotMaxMoyBar( ImMoyR, TotR, MaxR, MinR, MoyR, BarXR, BarYR );

Inertie( ImMoyR, TotR, BarXR, BarYR, InertieR );

Declare
    Type LFRed Is Digits 3;
    Type LF5 Is Digits 5;
Begin
    Put( "Couleur Max Min Moy " );
    Put_Line( "Tot BarX BarY Inertie" );
    Put_line( "Rouge " &

```

```

        LFRed'Image( LFRed(MaxR) ) & " " & LFRed'Image( LFRed(MinR) ) & " " &
        LFRed'Image( LFRed(MoyR) ) & " " & LF5'Image( LF5(TotR) ) & " " &
        LFRed'Image( LFRed(BarXR) ) & " " & LFRed'Image( LFRed(BarYR) ) & " " &
        LF5'Image(LF5(InertieR)
    );
End;

Declare
MiTemps : Time := Present + TempsAcquisition/2.0;
J : Day_Number := Day( MiTemps );
sJ : Constant String := Day_Number'Image( J );
Mois : Month_Number := Month( MiTemps );
sMois : Constant String := Month_Number'Image( Mois );
An : Year_Number := Year( MiTemps );
sA : Constant String := Year_Number'Image( An );
Sec : Natural := Natural(Seconds( MiTemps ));
H : Natural := Sec/3600;
sH : Constant String := Natural'Image( H );
M : Natural := (Sec-3600*H) / 60;
sM : Constant String := Natural'Image( M );
S : Natural := (Sec-3600*H-60*M);
sS : Constant String := Natural'Image( S );
Type Fixe3 Is Delta 0.001 Range -1_000.0..1_000.0;
Begin
Put_Line( sJ(2..sJ'Last) & "/" & sMois(2..sMois'Last) & "/" & sA(2..sA'Last)
& " " & sH(2..sH'Last) & ":" & sM(2..sM'Last) & ":" & sS(2..sS'Last)
& Ascii.HT
& Fixe3'Image(Fixe3(BarXR)) & Ascii.HT & Fixe3'Image(Fixe3(BarYR))
);

Open( Data, Append_File, "./Data.txt" );
Put_Line( Data,
sJ(2..sJ'Last) & "/" & sMois(2..sMois'Last) & "/" & sA(2..sA'Last)
& " " & sH(2..sH'Last) & ":" & sM(2..sM'Last) & ":" & sS(2..sS'Last)
& Ascii.HT
& Fixe3'Image(Fixe3(BarXR)) & Ascii.HT & Fixe3'Image(Fixe3(BarYR))
);
Close( Data );
End;

Loop Exit When Clock > Sort; End Loop;
End;
--|-----
Procedure BoucleAcquisition Is
NbAcquisitions : Natural := 1 + JoursExperience*86400 / Natural(Intervalle);
Begin
Put_Line( "Nb acquisitions : " & Natural'Image(NbAcquisitions) );
Create( Data, Out_File, "./Data.txt" );
Close( Data );
For Na In 1..NbAcquisitions Loop
Acquiert;
End Loop;
Close( Data );
End;
--|-----

Begin
Open_Camera;
End Acq1;
--|-----

/* Interface au pilote qce */
#include <fcntl.h>

static int Camera;
unsigned char *Image;
const ImSize = 352 * 288 * 3;

void open_camera(){
Camera = open("/dev/video0", O_RDWR);
Image = (char*)( malloc( ImSize ));
}

void read_camera ( ) { int len = read( Camera, Image, ImSize ); }

void close_camera ( ) { close( Camera );}

```

## ALGORITHME DE FFT A LONGUEUR VARIABLE (GLASSMAN)

With Ada.Numerics.Generic\_Complex\_Types;

```

-----
Package FFT_Glassman Is
-----
  Package Complexes Is New Ada.Numerics.Generic_Complex_Types (Long_Float);
  Use Complexes;

  Type Complex_Array Is Array( Positive Range <> ) Of Complex;
  Type Complex_Array2D Is Array( Positive Range <>, Positive Range <> ) Of Complex;

  Procedure FFT ( U:In Out Complex_Array );

End FFT_Glassman;
-----

```

With Ada.Numerics.Generic\_Elementary\_Functions;

```

-----
Package Body FFT_Glassman Is
-----
Procedure FFT ( U:In Out Complex_Array ) Is
  Harmonique      : Integer := 1;
  NbPériodes      : Integer := 1;
  Période         : Integer := U'Length;
-----
  Procedure SP_FFT (uin: Complex_Array; uout:Out Complex_Array) Is
    Package Fcts Is New Ada.Numerics.Generic_Elementary_Functions( Long_Float );

    Alpha          : Long_Float := 2.0*Long_Float(Ada.Numerics.Pi) / Long_Float(Harmonique
* NbPériodes);
    Exp_J_Omega    : Complex     := (1.0, 0.0);
    Exp_J_Alpha    : Complex     := (Fcts.cos (Alpha), Fcts.sin (Alpha));
  Begin
    For iNp In 0..NbPériodes-1 Loop
      For iH In 1..Harmonique Loop
        Declare Décal_P : Natural := iH * NbPériodes * Période;
        Begin
          For iP In 1..Période Loop
            Declare sum : Complex := uin( iP + Décal_P - Période );
            Begin
              For jcr In 2..NbPériodes Loop
                Declare Indice: Natural:= iP + Décal_P - Période*jcr;
                Begin sum:= uin(Indice) + Exp_J_Omega * sum; End;
              End Loop;
              uout( iP + Période * (iH-1 + iNp*Harmonique) ):= sum;
            End;
          End Loop;
        End;
      End;
      Exp_J_Omega:= Exp_J_Alpha * Exp_J_Omega;
    End Loop;
  End SP_FFT;
-----

```

```

  Inu      : Boolean := True;
  Subtype TableTravail Is Complex_Array( U'Range );
  Work     : TableTravail;
Begin
  While Période > 1 Loop
    Harmonique:= NbPériodes*Harmonique; NbPériodes:= 2;
    While (Période mod NbPériodes) /= 0 Loop NbPériodes:= NbPériodes+1; End Loop;
    Période := Période / NbPériodes;
    If Inu
    Then SP_FFT (U, Work);
    Else SP_FFT (Work, U );
    End If;
    inu:= not inu;
  End Loop;

  If not inu Then For i In U'Range Loop u(i):= work(i); End Loop; End If;

End FFT;
-----
End FFT_Glassman;

```

Transformées de fourier de  $\psi_{cc}$  et  $\theta_{cc}$ . Série d'octobre-novembre.

Période (h)	$\psi_{cc}$		$\theta_{cc}$	
	Module (radian)	Phase (°)	Module (radian)	Phase (°)
721,00	8,28E-06	-80	1,17E-04	54
360,50	7,87E-06	86	3,14E-05	-35
240,33	1,53E-05	-45	1,51E-05	-28
180,25	1,28E-05	-47	2,41E-05	22
144,20	1,55E-06	7	6,61E-06	-57
120,17	4,62E-06	51	4,33E-06	43
103,00	6,91E-06	70	9,70E-06	58
90,13	5,78E-06	-32	1,17E-05	-62
80,11	8,87E-06	85	4,25E-06	-78
72,10	2,58E-06	-44	1,57E-06	70
65,55	2,77E-06	52	6,35E-06	86
60,08	1,73E-06	75	4,92E-06	87
55,46	2,79E-06	72	3,54E-06	-5
51,50	3,52E-06	63	7,53E-07	74
48,07	1,64E-06	-36	5,79E-07	-88
45,06	1,54E-06	-5	1,35E-06	-41
42,41	2,47E-06	-85	3,07E-06	26
40,06	2,14E-06	89	3,68E-06	49
37,95	1,38E-06	-41	1,79E-06	-77
36,05	1,65E-06	46	1,64E-06	-80
34,33	6,58E-07	-28	1,54E-06	63
32,77	2,67E-06	78	9,56E-07	-85
31,35	7,69E-07	-65	1,39E-07	4
30,04	1,17E-06	-43	2,06E-06	70
28,84	6,61E-07	83	4,71E-07	60
27,73	1,06E-06	51	1,30E-06	-40
26,70	1,10E-06	49	1,07E-06	12
25,75	8,79E-07	-83	1,05E-06	26
24,86	1,83E-06	86	3,30E-06	-35
24,03	2,10E-06	26	3,25E-06	16
23,26	1,29E-06	75	2,79E-06	11
22,53	6,78E-07	-65	3,57E-06	23
21,85	1,30E-06	71	1,24E-06	-72
21,21	1,25E-06	-64	5,23E-07	42
20,60	1,59E-06	50	5,44E-07	38
20,03	1,34E-06	81	1,04E-06	34
19,49	4,40E-07	83	7,90E-07	66
18,97	1,35E-07	21	3,12E-07	-61
18,49	8,93E-07	-70	1,06E-06	-60
18,03	7,92E-07	68	3,00E-07	-52
17,59	4,73E-07	85	5,71E-07	50
17,17	5,83E-07	-36	2,64E-07	-66
16,77	5,59E-07	-82	1,25E-06	-74
16,39	6,59E-07	79	6,36E-07	86
16,02	1,24E-06	-58	7,30E-07	-38
15,67	7,16E-07	55	7,00E-07	9
15,34	6,18E-07	-78	8,37E-07	-82
15,02	1,28E-07	-55	8,01E-07	61
14,71	6,89E-07	79	3,57E-07	90
14,42	8,06E-07	83	6,50E-07	65
14,14	2,43E-07	-66	1,35E-07	83
13,87	6,65E-07	62	3,80E-07	59
13,60	4,15E-07	75	2,69E-07	15
13,35	5,48E-07	69	2,17E-07	-22
13,11	6,44E-07	36	1,26E-06	-78
12,88	6,91E-07	-71	2,70E-07	-26
12,65	4,92E-07	-87	7,10E-07	5
12,43	7,74E-07	-74	6,68E-07	26
12,22	1,27E-06	88	1,04E-06	-62
12,02	8,15E-07	33	1,23E-06	71
11,82	5,60E-07	-75	8,11E-07	-17
11,63	3,02E-07	-77	5,00E-07	-8
11,44	4,26E-07	82	1,21E-06	59
11,27	3,21E-07	-87	3,71E-07	51
11,09	5,49E-07	-65	3,04E-07	-67
10,92	6,06E-07	72	4,53E-07	32
10,76	2,38E-07	-42	4,69E-07	-53
10,60	1,90E-07	-89	6,18E-07	-29
10,45	5,05E-07	-87	2,24E-07	-48
10,30	2,27E-07	83	2,61E-07	81
10,15	4,57E-07	69	5,53E-07	68
10,01	3,70E-07	-29	6,84E-07	19

Transformées de fourier de  $\psi_{cc}$  et  $\theta_{cc}$ . Série de novembre-décembre.

Période (h)	$\psi_{cc}$		$\theta_{cc}$	
	Module (radian)	Phase (°)	Module (radian)	Phase (°)
721,00	6,34E-06	-155	3,92E-05	126
360,50	2,66E-06	99	2,49E-05	102
240,33	2,18E-06	43	2,00E-05	61
180,25	9,22E-06	-40	9,69E-06	-7
144,20	8,09E-06	15	1,12E-05	-12
120,17	2,38E-06	-96	3,19E-06	99
103,00	7,15E-06	89	8,90E-06	130
90,13	2,64E-06	2	5,87E-06	135
80,11	5,62E-06	58	1,06E-05	33
72,10	2,09E-06	-162	1,56E-06	115
65,55	3,10E-06	-53	8,01E-06	15
60,08	7,43E-07	-147	1,70E-06	73
55,46	3,07E-06	-85	6,57E-06	-134
51,50	2,67E-06	12	6,17E-06	124
48,07	1,94E-06	71	3,44E-06	133
45,06	1,60E-06	-14	2,60E-06	10
42,41	1,14E-06	-43	3,59E-06	56
40,06	1,57E-06	-157	3,36E-06	-31
37,95	1,40E-06	-76	1,29E-06	135
36,05	1,54E-06	127	1,79E-06	138
34,33	1,39E-06	99	1,86E-06	97
32,77	1,45E-06	26	1,81E-06	-11
31,35	1,02E-06	-148	1,69E-06	43
30,04	1,94E-06	-71	1,56E-06	-74
28,84	8,53E-07	-147	1,08E-06	95
27,73	6,69E-07	132	1,92E-06	139
26,70	3,36E-07	80	6,84E-07	114
25,75	1,33E-06	114	1,66E-06	120
24,86	9,93E-07	10	1,99E-06	98
24,03	3,16E-06	18	4,82E-06	23
23,26	1,33E-06	-115	8,38E-07	-108
22,53	5,29E-07	11	1,04E-06	77
21,85	6,35E-07	-84	1,55E-06	99
21,21	8,69E-07	-60	8,70E-07	24
20,60	7,79E-07	160	1,27E-06	41
20,03	2,47E-07	-171	4,74E-07	135
19,49	5,04E-07	58	6,14E-07	116
18,97	6,90E-07	154	1,54E-06	115
18,49	9,82E-07	-11	9,15E-07	63
18,03	8,33E-07	-35	1,57E-06	31
17,59	5,18E-07	-101	6,10E-07	-88
17,17	4,10E-07	-20	1,16E-07	-172
16,77	3,35E-07	112	1,16E-06	107
16,39	2,76E-07	-175	5,85E-07	58
16,02	6,74E-07	83	7,88E-07	114
15,67	2,45E-07	-90	1,04E-06	42
15,34	4,43E-07	-152	3,69E-07	-108
15,02	1,04E-07	-20	3,32E-07	-3
14,71	2,60E-08	79	5,37E-07	46
14,42	4,26E-07	-114	4,64E-07	-46
14,14	2,51E-07	60	4,72E-07	78
13,87	4,81E-07	-88	2,80E-07	51
13,60	3,99E-07	4	1,03E-06	84
13,35	5,90E-07	-122	4,90E-07	54
13,11	4,39E-07	-56	2,58E-07	44
12,88	1,70E-07	135	2,74E-07	69
12,65	2,60E-07	-127	3,20E-07	-133
12,43	1,33E-07	-61	7,30E-07	77
12,22	2,28E-07	-39	9,45E-07	77
12,02	9,90E-07	-30	1,24E-06	24
11,82	4,75E-08	-69	4,00E-07	26
11,63	1,68E-07	-117	2,81E-07	-170
11,44	2,46E-07	152	8,45E-07	97
11,27	2,17E-07	159	9,55E-07	136
11,09	2,47E-08	-14	2,73E-07	78
10,92	2,32E-07	173	2,41E-07	47
10,76	1,28E-07	-65	1,85E-07	53
10,60	3,69E-07	-4	5,96E-07	32
10,45	4,40E-07	-97	2,72E-07	153
10,30	4,06E-08	4	6,09E-07	42
10,15	2,05E-07	-146	1,99E-07	129
10,01	5,05E-07	-74	1,24E-07	22



Transformées de fourier de  $\psi_{cc}$  et  $\theta_{cc}$ . Série de décembre-janvier.

Période (h)	$\psi_{cc}$		$\theta_{cc}$	
	Module (radian)	Phase (°)	Module (radian)	Phase (°)
721,00	1,50E-05	-151	1,67E-05	-51
360,50	1,66E-05	-112	2,37E-05	-54
240,33	1,02E-05	-60	1,68E-05	-38
180,25	9,80E-06	-19	1,03E-05	-30
144,20	6,06E-06	-85	7,42E-06	-148
120,17	6,04E-06	36	1,10E-05	5
103,00	6,66E-06	100	5,74E-06	37
90,13	9,17E-07	-28	5,49E-06	96
80,11	1,66E-06	173	5,41E-06	115
72,10	3,09E-06	35	3,85E-06	43
65,55	3,31E-06	-87	3,28E-06	106
60,08	2,21E-06	132	2,98E-06	-133
55,46	3,80E-07	-139	2,03E-06	25
51,50	1,61E-06	122	1,29E-06	102
48,07	5,78E-07	73	1,72E-06	87
45,06	7,66E-07	-6	7,82E-07	134
42,41	7,38E-07	105	2,38E-06	-49
40,06	1,66E-06	-130	1,99E-06	98
37,95	8,13E-07	24	1,86E-06	7
36,05	1,35E-06	-7	9,85E-07	59
34,33	1,40E-06	79	2,62E-06	-113
32,77	1,39E-06	141	1,01E-06	67
31,35	7,23E-07	-125	1,60E-06	-130
30,04	1,07E-06	44	2,19E-06	55
28,84	5,89E-07	146	4,62E-07	45
27,73	9,67E-07	-3	1,94E-06	1
26,70	1,89E-06	-76	1,70E-07	-154
25,75	6,56E-07	7	2,28E-06	-36
24,86	1,25E-06	103	1,16E-06	94
24,03	3,62E-06	35	4,59E-06	10
23,26	2,46E-06	127	2,98E-06	145
22,53	4,49E-07	-74	1,26E-06	-85
21,85	1,37E-07	84	5,28E-07	142
21,21	1,05E-06	38	1,05E-06	126
20,60	7,31E-07	128	8,92E-07	118
20,03	3,88E-07	63	1,10E-06	-125
19,49	1,02E-06	-35	1,44E-06	-20
18,97	5,92E-07	55	1,28E-06	78
18,49	9,20E-07	125	3,38E-07	-145
18,03	3,46E-07	119	3,28E-07	73
17,59	8,11E-07	-130	7,01E-07	-26
17,17	7,77E-07	10	4,02E-08	-16
16,77	1,30E-06	91	4,23E-07	5
16,39	4,38E-07	138	6,56E-07	-143
16,02	8,77E-07	134	3,89E-07	106
15,67	3,51E-07	45	9,47E-08	-53
15,34	2,53E-07	-82	3,15E-07	-158
15,02	2,26E-07	121	5,56E-08	162
14,71	2,07E-07	163	7,87E-07	149
14,42	8,85E-07	145	1,65E-07	168
14,14	2,53E-07	171	1,04E-06	124
13,87	6,52E-07	79	3,17E-07	-83
13,60	7,15E-08	1	4,40E-07	42
13,35	5,51E-07	89	5,06E-07	111
13,11	5,46E-07	-177	3,12E-07	178
12,88	5,19E-07	-8	4,21E-07	-170
12,65	3,47E-07	-175	1,63E-07	-117
12,43	2,40E-07	141	2,38E-07	99
12,22	8,79E-07	97	5,83E-07	117
12,02	7,60E-07	-38	5,93E-07	-36
11,82	7,90E-07	72	9,18E-07	121
11,63	2,21E-07	-143	1,63E-07	-17
11,44	1,91E-07	-39	5,30E-07	120
11,27	9,96E-08	-131	3,27E-07	-138
11,09	5,93E-07	64	5,91E-07	58
10,92	3,87E-07	73	1,78E-07	127
10,76	6,21E-07	119	6,05E-07	99
10,60	1,89E-07	87	3,15E-07	-166
10,45	5,14E-07	76	2,33E-07	86
10,30	2,02E-07	-60	2,89E-07	45
10,15	3,73E-07	89	5,43E-07	111
10,01	2,43E-07	130	3,20E-07	135

